Niels Bohr

Atomphysik und menschliche Erkenntnis, Band I

Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig 1958

نیلس بور

فیزیک اتمی و شناخت بشری (جلد اوّل)

فریدریش فی‌وگ و پسر، براونش‌وایگ، ۱۹۵۸

Persische Übertragung:

Hossein Najafizadeh

Teheran, 1995

این کتاب را به پسرانم علی و عیسی تقدیم می‌کنم.

ح. ن.

فهرست

یادداشت مترجم فارسی

این ترجمه بین سالهای ۱۹۷۳ تا ۱۹۸۰، به هنگام تحصیل در شهرهای استراسبورگ و برلن غربی، ابتدا بر اساس نسخهٔ فرانسه – که اکنون در دسترس نیست – و سپس بر مبنای سواد نسخهٔ کتابخانهٔ دانشکدهٔ فنّی برلن غربی، که دوست عزیزم آقای شهرام انصاری فراهم آورده بود، صورت گرفت. سالها بعد که مترجم همچنان با پرداختن به مسائل فیزیک و فلسفه امرار ایّام می‌نمود، دوست گرامی آقای دکتر محمّدرضا سلطانپور، استاد علّامهٔ دانشکدهٔ فنّی دانشگاه تهران، و آقای امیرجلال‌الدین اعلم، برگردان فارسی را با تنها نسخهٔ انگلیسی موجود در کتابخانهٔ دانشکدهٔ فنّی دانشگاه تهران مقابله نمودند و زحمت ترجمه را در بسیاری از موارد به خود هموار نمودند. نظر به وجود تفاوتهای میان سه نسخه، مترجم مبنای کار خود را نسخهٔ اصلی آلمانی قرار داد و چنین شد که این ترجمه فراهم آمد.

و من الله توفیق و علیه التکلان

تهران، حسین نجفی زاده، ۱۳۷۳

دربارهٔ مؤلّف

نیلس بور[1] در ۷ اکتبر ۱۸۸۵ در کپنهاگ به دنیا آمد. تحصیلاتش را تا سال ۱۹۱۱ در همین شهر و بعد در کمبریج به انجام رساند. در کمبریج دستیار ارنست راترفورد[2] شد که خود نظریهٔ جدیدی دربارهٔ هستهٔ اتمی را در ذهن می‌پروراند. پس از دو سال اقامت در این شهر به زادگاهش بازگشت و با الهام گرفتن از کارهای ماکس پلانک[3] و راترفورد، نظریهٔ ساختمان اتمی ماده را پیشنهاد کرد. در سال ۱۹۲۲، به دلیل اهمیّت کارهایش در فیزیک، به دریافت جایزهٔ نوبل نایل گشت. چندی بعد در ۱۹۳۳، در پنجمین کنفرانس فیزیک نظری در واشینگتن فکر امکان شکست مصنوعی اتم اورانیوم را مطرح کرد. از این سال به بعد در «مؤسسهٔ فیزیک نظری» کپنهاگ به تحقیق مشغول شد و تا آخر عمر با نگارش مقالاتی در مجله‌های تخصصی به کار خود ادامه داد.

بور در ۱۸ نوامبر ۱۹۶۲ دیده از جهان فروبست.

ح. ن.

1. Niels Bohr 2. Ernest Rutherford 3. Max Planck

پیشگفتار

کتاب حاضر، مجموعهٔ مقالههایی است که در ۲۵ سال گذشته به مناسبتهای گوناگون نوشته شده، ودنبالهٔ بحثهایی است که به نام *نظریهٔ اتمی وتشریح طبیعت*[۱] در سال ۱۹۳۱ در انتشارات ژول اشپرینگر[۲] در شهر برلین انتشار یافته است. موضوع این بحثها، درس معرفت شناختی[۳] است که از پیشرفتهای اخیر فیزیك اتمی تحصیل کرده ایم، وهمین، موضع[۴] ما را در برابر تحلیل وترکیب[۵] درزمینههای متعدد شناخت بشری[۶] روشن می سازد. بحثهای مجموعهٔ قبلی زمانی نوشته شده است کهبنای روشهای ریاضی مکانیك کوانتومی[۷] بنیان مستحکمی برای توضیح سازگار[۸] پدیدههای اتمی[۹] به وجود آورد و به منظور مشخص کردن شرایط برای شرحی بی ابهام ازتجربیات دراین چارچوب، مفهوم مکملی[۱۰] درآن زمان وضع شد. در این مجموعه همین رهیافت با توجه به صورتبندی منطقی[۱۱] و با توجه به امکان استفادهٔ وسیعتر از آن گسترش بیشتری می یابد. بدین سبب تکرار زیاد برخی از

1. *Atomtheorie und Naturbeschreibung* 2. Jul. Springer Verlag

3. Erkenntnistheoretische Belehrung 4. Stellung

5. Analyse und Synthese 6. Menschliche Erkenntnis

8. Widerspruchfreie Behandlung 9. Atomphänomen

10. Der Begriff der Komplementarität 11. logische Formulierung

7. Der Ausbau der mathematischen Methoden der Quantenmechanik

مطالب طبیعتاً اجتناب ناپذیر بوده است. اما امیدوارم تکرارها کمك کرده باشد تا روشن شدن تدریجی استدلالها، و بـه‌خصوص وضـع مجموعـه‌ای دقیق از اصطلاحات را بنمایانم.

در پیشبرد نظرات مورد بررسی این مجموعه، بحثهای چندی با همکاران پیشین وکنونی «مؤسسهٔ فیزیك نظری» در دانشگاه کپنهاگ بسیار ارزشمند بود. بدین سبب در تدوین این مقالات، خود را ملزم می بینم که به خصوص از اسکارکلاین[۱۲] و لئون روزنفلد[۱۳]، که هم اکنون در دانشگاه استکهلم و منچستر به تدریس اشتغال دارند، و همچنین از استفان روزنتال[۱۴] و آگه‌پیترسن[۱۵] از مؤسسهٔ کپنهاگ تشکر کنم. همچنین می خواهم از همکاری مجدّانهٔ خانم سوفی هلمن[۱۶] که ترجمهٔ این اثر را مهیا ساخته است ــ به استثنای مقالهٔ اول که قبلا به دست خانم هرتا کوپفرمن[۱۷] صورت گرفته بود ــ تشکر کنم.

نیلس بور

کپنهاگ، تابستان ۱۹۵۷

12. Oskar Klein 13. Léon Rosenfeld 14. Stephan Rosenthal

15. Aage Petersen 16. Sophie Hellman 17. Hertha Kopfermann

درآمد

اهمیّت فیزیك برای تفکر فلسفی عام تنها از سهم آن در اعتلا شناخت ما از طبیعت، که ما خود بخشی از آنیم، ناشی نمی‌گردد، بلکه از اینجا ناشی می‌شود که ما را پیوسته به بررسی و تهذیب ابزارهای فکر یمان[1] واداشته است. مطالعهٔ ساختمان اتمی ماده در قرن حاضر، محدودیت غیر قابل انتظار حوزه‌ای را که در آن مفاهیم فیزیك کلاسیك قابل اعمال است، برایمان آشکار ساخت. بدین طریق، مفهوم آنچه در فلسفهٔ سنّتی از توضیح علمی انتظار می‌رفت، از نو روشن شد. برای درك پدیدهٔ اتم تجدیدنظری ضروری است تا مفاهیم بنیادی به گونه‌ای غیرمبهم به کار رود؛ هر چند، حیطهٔ این تجدیدنظر از مرزهای تخصصی علم فیزیك فراتر می‌رود.

توسعهٔ فیزیك اتمی این نکتهٔ اساسی را به ما یاد داد که کشف کوانتوم کنش[2] به فرآیندهای اتمی[3] خصلت یك کلیت[4] را نسبت می‌دهد. در مقالات حاضر کوشش خواهیم کرد وجوه اساسی فیزیك کوانتومی[5] را نشان دهیم و در عین حال مشابهتهایی را که این موقعیت با موضع ما در دیگر زمینه‌های شناخت دارد، یعنی زمینه‌هایی که در خارج از حوزهٔ درك مکانیکی طبیعت است، خاطر نشان سازیم. در این جا مسئلهٔ مشابهتهای کم و بیش مبهم مطرح نیست، بلکه موضوع، یافتن شرایطی است که در تحت آنها کاربرد وسایل مفهومیِ بیان مطرح است. چنین

1. begriffliches Hilfsmittel
2. Wirkungsquantum
3. atomare Vorgänge
4. Ganzheitszug
5. Quantenphysik

ملاحظاتی نه تنها سبب آشنا ساختن ما با موقعیت نوینی که در فیزیك بوجود آمده، می شود، بلکه می تواند، به دلیل خصلت بالنسبه سادهٔ مسائل اتمی، به ما در مشخص کردن شرایط لازم تشریح عینی در زمینه‌های وسیعتری یاری رساند.

هفت مقاله‌یی که در اینجا گرد آمده است با یکدیگر ارتباط نزدیك دارد؛ هر چند از نظر زمانی به سه دورهٔ مختلف ۱۹۲۳ـ۱۹۳۸، ۱۹۴۹ و ۱۹۵۴ـ۱۹۵۷ متعلق است. در سه مقالهٔ اول ـــ که با آنچه در ویرایش پیشین انتشار یافته تطابق دارد ـــ مسائل مربوط به زیست شناسی و مردم شناسی[6] مطرح است، که به ویژگیهای کلیتی که فرهنگهای بشری و ارگانیسم های زنده از خود نشان می دهد مربوط می گردد. قطعاً سعی ما بر این نیست که دربارهٔ این مسائل به طور جامع بحث کنیم، بلکه می خواهیم روشن سازیم که این مسائل چگونه در رویارویی با تعالیم عمومی فیزیك اتمی پدیدار می شود.

مقالهٔ چهارم به بحث دربارهٔ مسائل نظریهٔ شناخت می پردازد که فیـزیك کوانتومی امروزه در میان فیزیکدانان برانگیخته است. با توجه به خصلت چنین موضوعی، ناگزیر از به کار بردن زبان ریاضی شدیم، ولی درك استدلالها را می توان بدون نیاز به اطلاعات تخصصی دنبال کرد. تبادل نظرها منجر بدین گردید تا وجوه جدید مسئلهٔ مشاهده، از آنجا که برهمکنش[7] بین دستگاه های اندازگیری[8] و اشیای اتمی[9] مورد اندازه‌گیری بخشی تفکیك ناپذیر از پدیده های اتمی است، وضوح بیشتری می یابد. بدین دلیل است که اطلاعات حاصله در شرایط تجربی مختلف دیگر نمی تواند به طریق معمول یکجا درك شود و لزوم توجه به شرایطی که تحت آنها این تجربیات به دست آمده است، مستقیماً به توصیف مکملی[10] نیاز پیدا می کند.

مقالات آخر کتاب رابطهٔ نزدیکی با مقالات نخستین کتاب دارد. اما امیدواریم اصطلاحات جدیدی که برای ارائهٔ وضعیت فیزیك کوانتومی به کار رفته است، زمینهٔ دستیاب تری برای بحث در نظریهٔ شناخت فراهم سازد. به هنگام استفاده از این اصطلاحات در حوزهٔ مسائل کلی تر بخصوص به لزوم استعمال بدون ابهام مفاهیمی

6. Anthropologie 7. Wechselwirkung 8. Meßgeräte

9. Atomare Objekte 10. komplementäre Beschreibungsform

که در توصیف تجربیات به کار گرفته‌ایم، پافشاری کرده‌ایم. این نکتهٔ مهم را در این بحث خاطرنشان می‌سازیم که تشریح عینی[11] و جمعبندی موزون[12]، در تمامی قریب به اتّفاق حوزه‌های علمی، توجه خاصی به شرایطی می‌شود که تحت آن «وضوح» حاصل می‌شود.

11. objektive Beschreibung 12. harmonische Zusammenfassung

نور و حیات[1]

به عنوان فیزیکدانی که مطالعاتش محدود به تحقیق دربارهٔ خواص[2] اجسام بیجان[3] می گردد، قبول دعوت دوستانه برای حضور در این جمع را، که در آن دانشمندان به منظور پیشبرد شناخت ما در ارتباط با اثر شفادهنده[4] نور در درمان بیماریها گرد هم آمده اند، بی دغدغهٔ خاطر نپذیرفتم. بی آن که قادر به استعانت به شما در این رشتهٔ علمی بسیار پراهمیت برای رفاه بشر باشم، نهایتاً می توانم چند نکته در مورد پدیده های نوری مطلقاً فیزیکی[5] را خاطر نشان سازم که توجه خاص فیزیکدانها را طی اعصار به خود جلب کرده، بدین دلیل که نور ابزار اساسی مشاهده است. در این مورد تصور کردم که شاید بهتر باشد در این فرصت به بررسی مسئلهٔ مقدار تأثیر نتایج حاصله در قلمروی محدودتر از فیزیك بر دیدگاههایی که ما از موقعیت موجودات زنده در چارچوب کلی علوم طبیعی داریم، بپردازم. علی رغم خصلت برآوردناشدنی[6] اسرار حیات، چنین سؤالی در هر یك از مراحل توسعهٔ علم مطرح گردیده است، زیرا هرگونه توضیح علمی[7] ذاتاً بر این است که مجموعه‌ای از واقعیات پیچیده را به مجموعهٔ ساده‌تر دیگری تقلیل دهد. امروز این مسئلهٔ قدیمی اهمیت تازه‌ای یافته است، زیرا گسترش اخیر نظریهٔ اتمی این دلیل غیرقابل انتظار

1. Licht und Leben 2. Eigenschaften 3. leblose Materie
4. heilbringende Wirkung 5. rein Physikalische Lichtphänomene
6. Unerschöpflichkeit 7. wissenschaftliche Erklärung

را ارائه داد که توصیف مکانیکی طبیعت[8] محدودیتی ذاتی دارد. این گسترش از مطالعهٔ دقیق برهمکنش بین نور و اجسام مادی، که خصوصیاتی متفاوت با برخی از توقعات ما به دست می‌دهد و تاکنون در تشریح فیزیکی قطعی تلقی می شده است حاصل شد. در این جا کوشش می کنم این مطلب را نشان دهم که مساعی فیزیکدانها به منظور تسلّط بر این اوضاع بی‌شباهت به اتخاذ موضع کم و بیش شهودی زیست شناسان در مقابل جنبه‌های حیات نیست. ازهم اکنون این نکته را خاطر نشان می سازم که فقط به دلیل این ملاحظهٔ صوری[9] است که نور، که شاید ساده‌ترین پدیدهٔ فیزیکی است، شباهتی با حیات از خود نشان می دهد که تحلیلش از چارچوب امکانات تحلیل علمی فراتر می رود.

ازدیدگاه فیزیکی می توان پدیدهٔ نور را به عنوان انتقال[10] انرژی بین اجسام مادی مجزا ازیکدیگر در فضا[11] تعریف کرد. همچنان که می دانیم توضیح این مطلب را می توان در نظریهٔ الکترومغناطیس[12] یافت که همانا بسط منطقی[13] مکانیك کلاسیك است وبنابر آن، تضاد[14] میان اثرات دور[15] و نزدیك[16] ازمیان می رود. طبق این نظریه، نور به صورت نوسانات الکتریکی و مغناطیسی جفت شده[17] توصیف می گردد که با امواج الکترومغناطیس[18] معمولیِ رادیویی، تنها به سبب بسامد بیشتر ارتعاش[19] وطول موج کوتاهتر تفاوت دارد. بدین سبب انتشارِ عملا به خط مستقیم نور، که براساس آن تعیین موقعیّت اشیا ازطریقِ مشاهدهٔ مستقیم یا با واسطهٔ ابزارهای نوری صورت می گیرد، کلّا متکّی بر این واقعیت است که طول موجهای[20] به کار گرفته شده در مقابل ابعاد اشیای موردنظر و دستگاههای

8. mechanische Naturbeschreibung 9. formale Hinsicht

10. Übertragung von Energie 11. räumlisch getrennte materiellen Körper

12. elktromagnetische Theorie 13. sinngemäße Erweiterung

14. Gegensatz 15. Nahwirkung 16. Fernwirkung

17. gekoppelte elektrische und magnetische Schwingungen

18. elektromagnetische Welle 19. größere Schwingungsfrequenz

20. Wellenlänge

اندازگیری بسیار کوچك است. بدین ترتیب، خصلت موجی انتشار نور[۲۱] نه تنها اساس توضیح پدیده‌های رنگ[۲۲] است، که در طیف نمایی[۲۳]، اطلاعات[۲۴] مهمی از ساختمان[۲۵] اجسام مادی به دست داده است، بلکه در تحلیل خالص دیگر پدیده‌های نوری نیز نقشی اساسی ایفا می‌کند. به عنوان مثالی نوعی، مورد نقشهای تداخلی[۲۶] را به هنگامی که نور صادره ازمنبع نورانی[۲۷] ازدومسیر[۲۸] مختلف به سطح پرده‌ای می‌رسد، نام می‌برم. در این جا ملاحظه می‌کنیم که اثراتی را که باریکه نوری[۲۹] جداگانه می‌توانست بر روی پرده داشته باشد، در سطح پرده در نقاطی تقویت[۳۰] شده که در آنجا فاز[۳۱] دو دسته موج[۳۲] بر یکدیگر منطبق است، یعنی نوسانات الکتریکی و مغناطیسی دو باریکه یك جهت[۳۳] دارد، در حالی که همین اثرات در نقاطی که نوسانات دارای جهتهای مختلف[۳۴] است و شکل موج‌ها دارای فازهای متقابل است، تضعیف می‌شود[۳۵] و یا حتی می‌تواند ناپدید[۳۶] گردد. این نقشهای تداخلی، دلیلی آن چنان متقن از طبیعت موجی انتشار نور به ما می‌دهد، که دیگر نمی‌توان موجی بودن نور را همچون فرضیه‌ای متعارف تلقی کرد، بلکه باید بدان همچون توضیحی مناسب از پدیده‌های مورد مشاهده نگریست.

امّا، چنان که همه می‌دانید درسالهای اخیر بحث در طبیعت نور، به دنبال کشف خصلت ذاتاً اتمیستی[۳۷] مکانیسم انتقال انرژی، که ازدیدگاه نظریهٔ الکترومغناطیس کاملا نامفهوم است، از سر گرفته شده است. در حقیقت، هرگونه انتقال انرژی از طریق نور را بدین ترتیب می‌توان در عمل به فرآیندهای منفرد[۳۸] برگرداند که در هر یك از آنها یك ــ به اصطلاح ــ کوانتوم نور با انرژی اتمی برابر با حاصلضرب بسامد نوسانهای الکترومغناطیسی در کوانتوم عام کنش و یا ثابت پلانك[۳۹]، مبادله

21. Wellennatur des Lichtes 22. Farbphänomene 23. Spektroscopie
24. Aufschluß 25. Aufbau 26. Interfrenzfiguren 27. Lichtquelle
28. Weg 29. Lichtbündel 30. verstärkt 31. Phase
32. Wellenzug 33. Richtung 34. entgegengesetzte Richtungen
35. geschwächt 36. verschwindet 37. eigentümlich atomistischer Zug
38. individuelle Prozesse 39. plancksche Konstante

می گردد. تناقض شدید بین اثر اتمیستی نور و پیوستگی انتقال انرژی از دیدگاه نظریهٔ الکترومغناطیس، ما را در مقابل معضلی [۴۰] قرار می دهد که خصلت آن تاکنون ناشناخته مانده است. از این روی، علی رغم ناکفایتی [۴۱] آشکار تصور موجی [۴۲] انتشار نور به هیچوجه صحبت از تصور دیگری، متکی بر تصورات مکانیکی معمول نمی تواند باشد؛ به ویژه باید بر این نکته تأکید داشت که وضع مفهوم کوانتوم نور به هیچوجه به معنی بازگشت به نظریهٔ قدیمی نیست، که در آن هر یك از ذرات مادی حامل انرژی نوری [۴۳]، مسیر مشخصی را می پیماید. همچنان که یك نقش تداخل، با پوشاندن یکی از دو مسیر با جسمی غیر شفاف، و جلوگیری از یکی دو باریکه به منظور اطمینان یافتن از این که انرژی نوری تنها در طول یکی از مسیرها از منبع نور به صفحه منتهی می شود، ناپدید می گردد، به همین ترتیب نیز در تمامی پدیده هایی که در آنها طبیعت موجی نور نقش اساسی را بر عهده دارد، تعیین مسیر کوانتوم های منفرد نوری بدون آن که پدیدهٔ مورد مشاهده به کلّی مختل گردد، ممکن نیست. از این جا نتیجه می شود که پیوستار جایگاهی [۴۴] تصور ما از انتشار نور و اتمیستهٔ اثرات نور را باید جنبه های مکمل یکدیگر دانست. مکمل دانستن این دو از این جهت است که هر یك بیانگر ویژگیهای به یك اندازه مهم است، که هر چند از نظر مکانیك ناسازگار [۴۵] با یکدیگر به نظر رسد، هرگز در تضاد مستقیم [۴۶] با یکدیگر قرار نمی گیرد؛ زیرا که تحلیل دقیق آنها به زبان مکانیك آرایشهای تجربی ی [۴۷] را نیازمند است که با یکدیگر مانعة الجمع [۴۸] است. چنین وضعیتی ما را ناچار به اعراض [۴۹] از توضیح کامل علّی [۵۰] پدیده های نوری، و قناعت به قوانین احتمالات [۵۱] می کند، که متکی بر این واقعیت است که تشریح الکترومغناطیسی انتقال انرژی به وسیله نور در حالتی آماری معتبر است. بدین ترتیب با استعمال

40. Dilemma 41. Unzulänglichkeit 42. Wellenvorstellung
43. Bahn 44. Kontinuität in Zeit und Raum 45. Unvrerinbar
46. Direkter Gegensatz 47. Versuchsanordnung 48. ausschlieβend
49. Verzichten 50. Kausalbeschreibung 51. Wahrscheinlichkeitsgesetze

نوعیِ اصل تناظر[۵۲] سروکار داریم، که ما را تا حدود معینی مجاز به استفاده از تصورات مکانیکی و الکترومغناطیسی کلاسیك می کند، هر چند بین این نظریه‌ها و نظریهٔ کوانتوم کنش، تقابل وجود دارد.

آنچه که در بالا بدان اشاره شد، می تواند در اولین نگاه همچون موقعیتی نامطلوب نمودار گردد. اما آنچه که در دانش اتفاق افتاده، چیزی نیست، جز تکرار آنچه که بارها در تاریخ علم رخ داده است. در تاریخ علم، کشفیات جدید بارها محدودیت اساسی[۵۳] مفاهیمی را آشکار ساخته که پیش از آن زمان از اعتباری بی چون وچرا برخوردار بوده است. بدین ترتیب پهنهٔ دید ما وسیعتر می گردد و توان بیشتری را برای پیوند زدن پدیده هایی که ناسازگار به نظر می آمدند، خواهیم داشت. محدودیت مکانیك کلاسیك ــ که کوانتوم کنش نمایانگر آن است ــ کلید فهم پایداری[۵۴] اتم ها را، که تشریح مکانیکی پدیده های طبیعی اساساً متکی بر آنست، به دست می دهد. یکی از ویژگیهای اساسی نظریهٔ اتمی همواره این بوده است که تقسیم ناپذیری[۵۵] اتم ها در مکانیك کلاسیك نمی تواند قابل فهم باشد. توسعهٔ فیزیك، حتی آنگاه که ذرات الکتریکی بنیادی[۵۶]، یعنی الکترون ها و هستهٔ اتمی[۵۷] را ــ ذرات متشکلهٔ اتم ها و مولکول ها را ــ جایگزین اتم های تقسیم ناپذیر کرد، عملا تغییری در این وضع ایجاد نکرد. در این جا منظورم مسئلهٔ پایداری[۵۸] ذاتی ذرات بنیادی نیست، بلکه ساختمان اتمی تشکیل دهندهٔ آنهاست. اگر بخواهیم مسئله را از

۵۲. Korrespondenzprinzip عبارتی که نیلس بور خود در سال ۱۹۱۳ به کار برده است. بر اساس این اصل، نظریه‌ای که به زمینهٔ خاصی اختصاص دارد، با پیدایش نظریه جدید و کلی تر دیگری در همین زمینه نه تنها اعتبار خود را از دست نخواهد داد، بلکه می توان آن را به عنوان حدود مرزی از نظریهٔ جدید با وارد کردن پارامتری در عبارت ریاضی آن، و میل دادن آن پارامتر به سمت حد مشخصی، نتیجه گرفت. به عنوان مثال، قوانین و معادلات مکانیك کلاسیك را با میل دادن $h \to 0$ (ثابتِ پلانك) می توان از مکانیك کوانتومی نتیجه گرفت. مأخذ:
Philosophisches Wörterbuch, Band I, Von Mansfred Buhr, Leipzig 1975
ــ م.

53. Fundamentale Begrenzung 54. Stabilität 55. Unteilbarkeit
56. elektrische Elementarpartikel 57. Atomkern 58. Stabilität

دیدگاه مکانیك یا نظریهٔ الکترومغناطیس بررسی کنیم، اساس محکمی نمی توانیم بیابیم که بر آن مبنا، خواص ویژهٔ عناصر و حتی وجود اجسام صلب را، که همهٔ اندازه گیریهای مورد استفاده برای مرتب کردن پدیده ها در فضا و زمان نهایتاً بر آن قرار می گیرد، توجیه کنیم. با کشف کوانتوم کنش، بدین شناخت دست یافتیم که به هرگونه تغییر در میزان انرژی یك اتم ویك ملکول باید همچون فرایند اولیه ای[۵۹] نظر داشت که این اتم یا ملکول را از حالت ایستا[۶۰] به حالت دیگری می برد. به هنگامی که یکی از این مراحل با انتشار[۶۱] ویا جذب[۶۲] نور همراه است، درست یك کوانتوم نور پدیدار ویا ناپدید می گردد؛ امری که به یاری مشاهدات طیف سنجی به ما اجازه می دهد تا مستقیماً انرژی این حالت ایستا را اندازه گیری کنیم. اطلاعاتی که از این طریق به دست آمده، تحقیقات دربارهٔ مبادلات انرژی به هنگام وقوع برخورد اتم ها[۶۳] و یا واکنشهای شیمیایی[۶۴] را به آموزنده ترین وجهی تأکید کرد.

مکانیك اتمی در سالهای اخیر گسترش فوق العاده ای یافت و امروزه روشهای آن چنان دقیقی، چه برای محاسبهٔ میزان انرژی حالت ایستای اتم وچه برای برآورد احتمال حدوث فرآیند انتقال[۶۵]، در اختیار داریم که توضیحمان از خواص اتم به کمك اصل تناظر در هیچ چیز، نه در جامعیت و نه در انتظام منطقی اش[۶۶]، دست کمی از توضیح واقعیات نجومی از طریق مکانیك نیوتونی ندارد. اگرچه بررسی دقیق مسائل مکانیك اتمی تنها از طریق وضع نمادهای[۶۷] جدید کمکی میسر گردیده، با وجود این چنین گسترشی را تحلیل ساده ترین پدیده های نوری موجب شده است. بدین سبب است که بین کاربرد روشن حالات ایستا و تحلیل مکانیکی حرکات ذرات درون اتمی، همان رابطهٔ مکملی وجود دارد که بین نظریه کوانتایی نور و نظریهٔ تابش الکترومغناطیسی[۶۸] موجود است: بدین ترتیب، هرگونه کوششی، به منظور تعقیب مسیر فرآیند انتقال در تمامی جزئیاتش، مبادلهٔ غیرقابل کنترل انرژی بین اتم

59. Elementarprozeß 60. stationärer Zustand 61. emittiert
62. absorbiert 63. Atomzusammenstoß 64. chemische Reaktionen
65. Übergangsprozess 66. innerer Zusammenhang 67. Symbol
68. elektromagnetische Strahlung

و ابزار اندازه گیری را موجب می شود که به کلّی کار تحلیل تعادل انرژی را مختل[۶۹] خواهد کرد. توصیف علّی، به مفهوم کلاسیك آن، تنها در صورتی ممکن است که اثر مذکور در مقابل کوانتوم بزرگتر باشد و نتیجتاً پدیده‌ها را بتوان به پدیده‌های کوچکتری تقسیم کرد، بی آن که اختلال قابل توجهی رخ دهد. اما هنگامی که چنین شرطی تحقق نیافته است، نمی توان از کنش ابزارهای اندازه گیری بر شیء مورد بررسی چشم‌پوشی کرد، و در نتیجه اندازه گیریهای مختلفی که برای توصیف مکانیکی پدیده‌ها ضروری است، تنها از طریق آرایشهای تجربی مانعة‌الجمع می تواند حاصل گردد. به منظور درك بهترِ این محدودیت تحلیل مکانیکی پدیده‌های اتمی، لازم به یادآوری است که برهمکنش میان ابزار اندازه گیری و شیء مورد اندازه گیری را هرگز نمی توان مستقیماً از طریق اندازه گیری فیزیکی به حساب آورد، زیرا که ابزارهای اندازه گیری خود وسیلهٔ مشاهده اند و نمی توانند در میدان مشاهده ملحوظ گردند. همچنان که مفهوم عام نسبیت وابستگی ذاتی هر پدیده‌ای را به چارچوب مرجع[۷۰] مورد استفادهٔ مختصاتی آن در زمان و مکان بیان می کند، به همین نحو مفهوم مکملی نیز نمادی است برای محدودیت بنیادی ما در فیزیك اتمی از وجود پدیده‌های مستقل از ابزار مشاهده.

تجدیدنظر در اصول مکانیك، که تا جایی پیش می رود که حتی مفهوم تشریح فیزیکی را مورد تردید قرار می دهد، نه تنها در روشن کردن موقعیت نظریهٔ اتمی نقش قاطعی داشته است، بلکه زمینهٔ جدید دیگری به منظور بحث در مسائل زیست شناختی از دیدگاه فیزیك را گشوده است. این امر به هیچوجه بدان‌معنی نیست که ما در پدیده‌های اتمی ویژگیهایی را می یابیم که به نسبت نمودهای معمول فیزیکی[۷۱] با خصوصیات سازواره‌های زنده مشابهت بیشتری داشته باشد. در اولین نگاه، به نظر می‌رسد که خصلت اساساً آماری مکانیك اتمی به سختی می تواند با سازمانی[۷۲] با ظرافتی اعجاب انگیز که ما در موجودات زنده سراغ

69. zerstören 70. Bezugsystem

71. gewöhnliche physikalischen Erscheinugen 72. Organisation

داریم، و در آنها تمامی ویژگیهای نوعی یك تیره[۷۳] از پیش در درون تخمی[۷۴] بی نهایت کوچك محفوظ است، سازگار باشد. اما نباید فراموش کنیم که قوانین ویژهٔ فرآیندهای اتمی، که با توصیف علّی مکانیکی ناسازگار است و تنها از طریق توصیف مکملی قابل فهم است، حداقل به همان اندازهٔ لازم برای درك مکانیسم حیات، برای توضیح خواص اجسام غیرآلی نیز ضروری است. مثلا در جذب کربن[۷۵] در گیاهان، که تغذیهٔ حیوانات وسیعاً بدان بستگی دارد، با پدیده‌ای سر و کار داریم که فهمش بدون قبول فردیّت[۷۶] فرآیندهای فوتوشیمیایی ممکن نمی گردد. همچنین پایداری غیرمکانیکی ساختارهای اتمی، نقشی آشکار در خواص مشخصهٔ ترکیبهای چنان پیچیده‌ای همانند کلروفیل یا هموگلوبین ــ که نقش بسیار مهمی در جذب مواد غذایی در گیاهان و تنفس در حیوانات دارد ــ ایفا می کند. اما قیاسهایی با تجربیات در حوزهٔ شیمیایی معمولی، مانند مقایسهٔ دیرین حیات با آتش، و یا با مدلهای مکانیکی همچون ساعت، هیچ یك نمی‌تواندبه‌درکی پسندیده‌از ارگانیسم‌های زنده منتهی گردد. توضیح مشخصه‌های ذاتی موجودات زنده را تنها در سازمان خاص آنها باید جستجو کرد؛ در سازمانی که در آن ویژگیهایی که می توان با مکانیك معمولی تحلیل کرد آن چنان هم کلاف با ویژگیهای اتمیستی نوعی است، که ذره‌ای از آن نمونه را در جهان غیر آلی نمی توان یافت.

مطالعهٔ ساختمان و طرز کار چشم، اطلاعات ارزنده‌ای را دربارهٔ ساختمان و نقش این سازمان دقیق ارائه داد. سادگی پدیدهٔ نور در این جا نیز کمك ارزشمندی به کار ما کرد. بحث دربارهٔ جزئیات در مقابل این جمع لزومی ندارد. در این جا می خواهم تنها یادآوری کنم که چگونه چشم پزشکی[۷۷] ویژگیهای چشم را به عنوان ابزار بینایی، بر ما روشن کرد. اَشکال اجتناب ناپذیر ناشی از اثرات تداخل که به دلیل خصلت موجی نور به تشکیل تصاویر[۷۸]، حدودی[۷۹] را تحمیل می کند، در چشم دارای ابعادی می باشد که با بزرگی ابعاد میدان شبکیّه[۸۰]، که خود دارای ارتباطات

73. Art   74. Keim   75. Kohlenstoffassimilation
76. Individualität   77. Ophtalmologie   78. Bildentstehung
79. Grenzen   80. Netzhautgebiet

عصبی[۸۱] ویژه با مغز است، تقریباً یکی است. به علاوه، از آنجا که جذب حتی یك کوانتوم نور توسط این اجزای شبکیه‌ای ــ و شاید هم یك کوانتوم ــ از طریق عناصر شبکیه برای ایجاد تأثیر بصری[۸۲] کافی است، می‌توانیم بپذیریم که حساسیت[۸۳] چشم به حد مطلقی دست یافته، که خصلت اتمی پدیده‌های نوری تعیین کنندهٔ آن است. با توجه به این دو خاصیت، چشم همتراز با تلسکوپ و یا میکروسکپ خوبی است که به دستگاه تقویت کننده‌ای[۸۴] مجهز است که می‌تواند فرآیندهای فوتونی منفرد قابل مشاهده را ثبت کند[85]. اگر چه این گونه ابزارها امکان مشاهده را افزایش می‌دهند، اما حقیقت این است که تصور دستگاههای نوری موثرتر از چشم، به دلیل محدودیتهایی که خواص بنیادی پدیده‌های نوری اعمال می‌کند، میسر نیست. ظرافت آرمانی چشم، که تنها توسعهٔ اخیر فیزیك امکان شناخت آن را در تمامیتش به ما داد، ما را بدین فکر وامیدارد که اعضای دیگر بدن هم، که وظیفهٔ دریافت تأثیرات حسی[۸۶] و یا واکنشهای ارگانیسم در پی این تأثیرات را دارد، باید هم چون چشم، وضع مشابهی از نظر تطابق[۸۷] ساختمانی با اهداف خودرا داشته باشد؛ و خصلت فردیت که کوانتوم کنش نمایانگر آن است، دررابطه با مکانیسم تقویت کنندهٔ مناسبی در همه‌جا باید نقش قطعی را ایفا کند. اگر تاکنون امکان کشف چنین محدودیتی برای دیگر اعضای بدن میسر نگردیده، چنان که گفتیم، از آن روست که پدیده‌های نوری در مقایسه با دیگر پدیده‌ها خصلتی بسیار ساده دارد.

با وجود این، قبول اهمیت ویژگیهای ذاتاً اتمیستی در طرز کار ارگانیسم‌های زنده، نمی‌تواند در تشریح جامع[۸۸] پدیده‌های زیستی کافی باشد. نکتهٔ اساسی این سؤال است که آیا برای فهم حیات، با تکیه بر تجارب فیزیکی در تحلیل پدیده‌های طبیعی دیدگاههای اساسی دیگری را کم نداریم؟ صرف نظر از غنای عملا بی‌کران پدیده‌های زیستی، به نظر می‌رسد که پاسخ به چنین سؤالی، بدون تعمیق مسئلهٔ

81. Nervenbahn 82. Gesichtseindruck 83. Empfindlichkeit

84. Verstärkeranordnng 85. registrieren 86. Sinneseindruck

87. Anpassung 88. zusammenfassende Erklärung

طبیعتاً توضیح فیزیکی ــ که به مراتب بنیانی تر از آن است که کشف کوانتوم کنش ما را بدان محبور ساخت ــ میسر نباشد. از یك طرف ویژگیهای اعجاب انگیزی، که تحقیقات فیزیولوژیك پیوسته برایمان روشن می کند، و آشکارا با آنچه از طبیعت بی جان می دانیم تفاوت دارد، برخی از زیست شناسان را بر این داشته است تا به امکان درك واقعی جنبه‌های اساسی حیات بر حسب فیزیك محض تردید کنند؛ اما از طرف دیگر این دیدگاه را ــ که غالباً آن را حیات گرا می نامیم[۸۹] ــ دیگر به زحمت می توان بدون ابهام با همان فرضیهٔ قدیمی بیان کرد که می پندارد بر هر حیات آلی نیرویی حیاتی[۹۰] غالب است که در فیزیك ناشناخته است. همگی ما، موافق با نیوتون، بر این نظریم که علم بر این باور[۹۱] غائی بنیان گزارده شده است که طبیعت در شرایط یکسان از قوانین یکسان اطاعت می کند. نتیجتاً اگر می توانستیم تحلیل مکانیسم ارگانیسم های زنده را به حد تحلیل پدیده‌های اتمی به پیش بریم، دیگر نمی بایستی این انتظار را داشته باشیم که خود را در مقابل رفتاری خارج از رفتار مواد غیر آلی بیابیم. اما در مقابل این معضل باید بدین واقعیت اندیشید که شرایط تحقیق در زیست شناسی و فیزیك مستقیماً قابل مقایسه با یکدیگر نیست، زیرا لزوم بقای حیات در موجود مورد مطالعه، خود، محدودیتهایی را به تحقیق در زیست شناسی اعمال می کند که مانندی در فیزیك برای آنها یافت نمی شود، مثلا اگر بخواهیم مطالعه از اعضای یك حیوان را تا سر حدّ تعیین نقش اتم های فردی در وظایف حیاتی حیوان به پیش ببریم، بدون تردید باید آن حیوان را بکشیم. از این جا نتیجه می شود که هر تجربه‌ای بر روی موجودات زنده، با عدم قطعیتی[۹۲] از نظر شرایطی که موجود زنده تحت آنها مورد بررسی قرار می گیرد، همراه است. این امر ما را بدین فکر وامی‌دارد که آزادی اندکی که بالاجبار به موجودات زنده می دهیم، همانقدر کافی است تا آنها بتوانند اسرار نهایی خود را از ما پوشیده دارند. از این دیدگاه، به وجود حیات باید هم چون حقیقتی بنیادی نظر داشت که برای آن نمی توان هیچ گونه دلیلی ارائه داد، و باید بدان چون نقطهٔ آغازین[۹۳] در

89. Vitalismus 90. Lebenskraft 91. Überzeugung
92. Unsicherheit 93. Ausgangpunkt

زیست شناسی نظر داشت. وجودِ کوانتوم کنش، این عنصر نامعقول[۹۴] از نظر مکانیك کلاسیك نیز ــ به همراه دیگر ذرات بنیادی ــ اساس فیزیك اتمی را تشکیل می دهد. در حقیقت، تحلیل ناپذیری پایداری اتمی با تعبیرات مکانیکی، تشابهی نزدیك با ناممکن بودن تشریح فیزیکی یا شیمیایی از کارکردهای ویژه‌ای که مشخصهٔ حیات است، دارد.

در ادامهٔ چنینِ تشابهی[۹۵] نباید فراموش کنیم که مسائل در فیزیك و در زیست شناسی ذاتاً جنبه‌های متفاوتی دارند. مثلا در فیزیك اتمی توجه ما بیشتر به خواص ماده به ساده ترین صورت خود است، در حالیکه در نظامهای[۹۶] مادی، که در زیست شناسی با آنها سروکار داریم، و از ماهیّتی اساسی برخوردار است، نظرمان بیشتر متوجه ساخت پیچیدهٔ آنها است، زیرا که ارگانیسم ها ــ حتی ابتدایی ترین آنها ــ از تعداد زیادی اتم تشکیل می شود. درست است که مکانیك کلاسیك قابل اعمال به حوزهٔ وسیعی است که حتی ابزارهای اندازه گیری در فیزیك اتمی را مشتمل می شود، این امر به درستی متکی بر این امکان است که در توصیف اجسام متشکل از اتم‌های بسیار می توان از کوانتوم کنش مربوط به خاصیت مکملی صرف نظر کرد. اما آنچه که ویژهٔ تحقیق در زیست شناسی است، این است که شرایط خارجی را، که هر یك از اتم‌های مجزا در بند آن است، هرگز نمی توان در حدی که در تجاربِ بنیادی فیزیك اتمی ممکن است، مهار کرد[۹۷]؛ ودر این مورد حتی نمی توانیم واقعاً تعلق یك اتم خاص به ارگانیسم زنده را تعیین کنیم، زیرا هر کارکرد حیاتی[۹۸] با تبادل ماده[۹۹] همراه است که از طریق آن، اتمها به طور پیوسته به سازمان تشکیل دهندهٔ نوع زنده جذب[۱۰۰]، یا از آن دفع[۱۰۱] می شود. از این تفاوت اساسی بین تحقیقات فیزیکی و زیست شناختی چنین نتیجه می شود که تعیین حد دقیق قابلیت اعمال مفاهیم فیزیکی به مسائل حیات، که متناظر است با تمایز بین حوزهٔ تشریح علّی مکانیکی و پدیده‌های کوانتومی در مکانیك اتمی، ممکن نیست. این

94. irrationales Element 95. Analogie 96. System

97. kontrollieren 98. Lebensfunktion 99. Stoffwechsel

100. Aufnahme 101. Ausscheidung

محدودیت ظاهری در تشابهی که در بالا بدان اشاره شد از تعاریف دقیق کلمات حیات و مکانیك نشأت می گیرد، زیرا از این کلمات برای راحتی بیان استفاده می شود. مثلا از یك سو اگر مفهوم حیات را به همهٔ پدیده های طبیعی اطلاق می کردیم محدودیت مفاهیم فیزیکی در زیست شناسی ــ به جای تمایز بین ارگانیسم های زنده و اجسام غیره زنده ــ معنی خود را از دست می داد. اما از سوی دیگر اگر بخواهیم مطابق زبان روزمره، کلمهٔ مکانیك را برای توصیف علیّ بدون ابهام پدیده های طبیعی نگاه داریم، اصطلاحی همچون مکانیك اتمی بی معنی می شود. در این جا منظورم ورود بیشتر به مسائل جَدلی محض[۱۰۲] نیست، بلکه منظورم خاطرنشان ساختن این نکته است که هستهٔ اصلی چنین مشابهتی همان رابطهٔ انحصاری است که از طرفی میانِ تقسیم به جزء ــ که در هر تحلیل فیزیکی ضروری است ــ و پدیده های خصلتاً زیست شناختی مانند تکثیر[۱۰۳] و بقاء[۱۰۴] موجودات زنده از طرف دیگر موجود است. چنین وضعی همچنین مفهوم غایت[۱۰۵] را با خود همراه می آورد، گرچه در تحلیل های مکانیکی جایی برای آن نیست، اما در مسائلی که در آنها نشانه های حیات باید ملحوظ گردد، کم و بیش مورد استعمال می یابد. بدین مفهوم، نقش براهین غایت گرا[۱۰۶] در زیست شناسی یادآور کوششهایی است، که با تکیه بر اصل تناظر، قصد منظور کردن کوانتوم کنش را در فیزیك اتمی به شیوه ای معقول دارد.

البته به هنگام طرح مسئلهٔ قابلیت اعمال مفاهیم فیزیکی محض بر ارگانیسم های زنده، حیات را درست مانند سایر پدیده های دنیای مادی در نظر گرفته ایم. اما لازم به تاکید نیست که چنین دیدگاهی که از ویژگیهای تحقیق در زیست شناسی است، به هیچ وجه جنبهٔ فیزیولوژیکی حیات را از نظر دور ندارد، بلکه بالعکس، به نظر می رسد که قبول محدودیت مفاهیم مکانیکی در فیزیك اتمی، به ما در آشتی دادن دیدگاههای به ظاهر متناقض فیزیولوژی و روانشناسی یاری می رساند. لزوم توجه

102. rein dialektische Fragen
103. Fortpflanzung
104. Selbsterhaltung
105. Zweckmäßigkeit
106. teleologische Argumente

برهمکنشی بین ابزار اندازه گیری و شیء مورد اندازه گیری در مکانیك اتمی یادآور دشواریهایی است که در تحلیلهای روانشناختی[107] بدانها برمی خوریم و همگی ناشی از این واقعیت است که محتوای آگاهی[108]، به محض آن که توجه خود را بر یکی از عناصرش متمرکز کنیم، حتماً تغییر می یابد. برای آن که از موضوع زیاددور نشویم، موضوع مقایسه را، که با توجه به خصلت ویژهٔ مسائل زیست شناسی، نقطهٔ شروع جدیدی در توضیح آیین توازی روان تنی[109] ارائه می دهد، گسترش بیشتری نمی دهیم. در این جا میل دارم صراحتاً تأکید کنم که ملاحظاتی که بدانها اشاره شد، تماماً با هر کوششی که درجست وجوی امکانات جدیدی برای تأثیر ذهنی بر رفتار ماده در تشریح آماری پدیده های اتمی باشد، متضاد است. به عنوان مثال اگر کسی چنین گمان کند که اراده میدان عمل خود را در تنظیم پدیده های اتمی ــ پدیده هایی که نظریهٔ اتمی برای آنها تنها قوانین آماری را می تواند وضع کند ــ می یابد، در این صورت چنین نظری با تحلیلی که از آیین توازی روان تنی داریم، متناقض است؛ زیرا که به گمان ما به احساس آزادی‌همچون‌ویژگی یی از حیات آگاه باید توجه داشت، که تنها همتراز مادیش را در وظایف ارگانیکی، که نه امکان تشریح علّی را می دهد و نه امکان تجربهٔ فیزیکی بر روی خود را می دهد، تا بتوان قوانین آماری مکانیك را به طرز صحیحی بر آنها اعمال نمود، می توان یافت. بی آن که به دام تأملات نظری مابعدالطبیعی بیفتیم، اجازه می خواهم بگویم که هرگونه تحلیل از مفهوم مهّم توضیح باید بنا به‌طبیعت این مفهوم، با نوعی تسلیم شروع شود و خاتمه یابد: تسلیم از بابت درك ما از فعالیت فکری خاصّ خودمان.

در خاتمه نیازی به تأکید نیست که در هیچ یك از اشاراتم قصد بیان نوعی شکاکی گری را در رابطه با امکاناتی که گسترش علوم فیزیکی و زیستی در آینده ارائه خواهدداد، نداشتم. درحقیقت توسل به شکاکی گری، ازروحیهٔ یك فیزیکدان،

107. psychologische Analysen 108. Inhalt des Bewußtseins

۱۰۹. Psycho-Physischer Parallelismus؛ آئینی که فشنر فیلسوف آلمانی در نیمهٔ دوم قرن نوزدهم ارائه کرده است. بنابراین آیین هیچ گونه برهمکنش میان تن وروان به وقوع نمی پیوندد. تن همتای روان و روان همتای تن است. ــ م.

در عصری که شناخت مفاهیم اساسی، گسترشی چندگانه و عمیق را در علم موجب شده، بسیار به دور است. بر همین منوال، چشم پوشی لازم از توضیح خود حیات، هرگز مانعی در جهت پیشرفت شکوهمند علم در تمامی شاخه‌های زیست شناسی نبوده، که ثمر بخشی آنها علی الخصوص در پزشکی آشکار است. اگرچه امکان تعیین حد دقیق بین سلامت و بیماری ممکن نیست، بدون تردید یافتن راه حلّی برای مسائل مهمی که در این مجمع مطرح است، به شرط پیروی از تعلیمات فینزن[۱۱۰] که تاکنون قرین به پیروزی بوده است و مشخصهٔ آنها ارتباط نزدیك میان تحقیق در اثرات شفادهندهٔ نور و مطالعهٔ اساسی فیزیکی آنها بود، امکان پذیر است.

110. Finsen

زیست‌شناسی و فیزیك اتمی

اثر[1] فناناپذیر[2] گالوانی[3]، که سر آغاز عصر جدیدی در تاریخ تمامی علوم بود، نمونهٔ بسیار روشنی از ثمر بخش[4] بودن ایجاد ارتباط بین اکتشاف قوانین طبیعت بی جان[5] و مطالعهٔ خواص ارگانیسم های زنده[6] را نشان می دهد. از این روی شاید مناسب باشد تا در این فرصت نظر دانشمندان را در بارهٔ مسئلهٔ روابط میان فیزیك و زیست شناسی در قرون گذشته مرور کنیم و به خصوص به بحث در بارهٔ دورنماهایی بپردازیم، که به دنبال گسترش فوق العادهٔ نظریه اتمی در سالهای اخیر، پدیدار گشته است.

توجه دانشمندان، در کوششهای خود به منظور دستیابی به دیدی جامع[7] از پدیده های طبیعی، علی رغم کثرت بی شمار آنها، از بدو شروع علم بر نظریه اتمی متمرکز بوده است. دموکریتوس[8] با درك شهودی عمیقی که داشت بر لزوم تصوّر اتمی ماده[9] در بررسی خواص عادی ماده تاکید می ورزید؛ و در این خصوص، همچنان که می دانیم، می کوشید فکر اتمی بودن ماده را در جهت توضیح ویژگیهای[10] حیات آلی[11] و حتی روانشناسی انسان[12] به کار گیرد. با توجه به

1. Werk 2. unsterblich 3. Galvani 4. Fruchtbarkeit
5. unbelebte Natur 6. lebende Organismen
7. umfassender Überblick 8. Demokrit
9. atomistische Vorstellung der Materie 10. Eigentümlichkeiten
11. organisches Leben 12. menschliche Psychologie

خصلت توهمی[۱۳] این مادی گرایی افراطی، طبیعی بود که ارسطو[۱۴]، استاد علوم زمان خود — در فیزیك و زیست شناسی — نظریهٔ اتمی را کاملا مردود بداند و خود کوشش به استقرار چارچوبی بالنسبه وسیع، به منظور فهم کثرت پدیده‌های طبیعی، بر اساس مفاهیم غایت شناختی[۱۵] بنماید. اما کشف تدریجی قوانین اولیهٔ طبیعت، که هم قادر به توضیح اجسام بی جان[۱۶] و هم ارگانیسم‌های زنده بود، مبالغه‌آمیز بودن تعلیمات ارسطو را روشن ساخت.

وقتی چگونگی وضع اصول مکانیك را به خاطر می آوریم، اصولی که می رفت تا پایه‌های اولیهٔ فیزیك را تشکیل دهد، ذکر کشف ارشمیدس[۱۷] هم بی مناسبت نیست. کشف[۱۸] ارشمیدس در اصول تعادل[۱۹] اجسام شناور[۲۰]، که بنابر روایتی مشهور به هنگام استحمام، احساس سبك شدن و به سمت بالا کشیده شدن در خزینه، آن را به وی القا کرده است، حتی با استفاده از تجربهٔ معمولی کاهش وزن سنگ در آب نیز ممکن بود صورت بگیرد. و به همین منوال، حتی می توان این امر را که گالیله نه با ملاحظهٔ حرکات کودکان به هنگام بازی با تاب[۲۱]، بلکه با مشاهدهٔ حرکت نوسانی[۲۲] چهل چراغی در کلیسای زیبای پیزا موفق به کشف قوانین اساسی دینامیك گردید، تصادفی دانست. مسلّم است که چنین مشابهتهای خارجی کم اهمیتی نمی توانست وحدت اساسی در اصولی را که حاکم بر پدیده‌های طبیعی بود، به ما تفهیم کند، بلکه بیش از آنها مشابهتهای عمیق بین موجودات زنده و ماشین‌ها — که تحقیقات کالبدشناسی[۲۳] و فیزیولوژی در عصر رنسانس و به خصوص در ایتالیا برایمان آشکار کرده بود — چنین فهمی را ممکن ساخت.

موفقیتهای بدست آمده در رشته‌های مختلف علوم طبیعی، از کشف کپرنیك[۲۴] گرفته تا هاروی[۲۵]، که یکی به دید ما از جهان وسعت بیشتری داد و دیگری مکانیسم

13. phantastischer Charakter
14. Aristoteles
15. teleologisch
16. leblose Körper
17. Archimedes
18. Entdeckung
19. Gleichgewicht
20. schwebende Körper
21. Schaukel
22. Pendelbewegung
23. Anatomie
24. Kopernikus
25. Harvey

گردش خون[۲۶] در حیوانات را برایمان روشن ساخت، همگی شور و شوقی را برانگیخت که بهترین تجلی آن را در کار برلی[۲۷] می توان یافت، که در آن نقش[۲۸] اسکلت[۲۹] وماهیچه‌ها[۳۰] درحرکت حیوانات به دقت تشریح شده است. کوششهای برلی و اخلافش، به منظور توضیح واکنشهای عصبی[۳۱] و ترشحات غدوی[۳۲] از طریق الگوهای مکانیکی ابتدایی، حتی از اعتبار اثر مذکور، به عنوان یك اثر کلاسیك، چیزی نکاست. فرضی بودن آشکار و بیهودگی این الگوها موجب بروز یك رشته انتقادات عمومی شد که امروزه نیز با نام تمسخرآمیز «فیزیکدان‌های پزشك»[۳۳] که به مکتب برلی اطلاق می‌شده در اذهان باقی مانده است. همچنین در کوششهای دیگری ــ هر چند در بنیان صحیح ــ که قصد اعمال شناخت فزآینده[۳۴] ما از تبدیلات به ویژه شیمیایی ماده به فرآیندهای فیزیولوژیك را داشت ــ و «سیلویوس»[۳۵] همگی آنها را باذوق و شوق فراوان ارائه داده است ــ این ناپختگی بازهم به چشم می خورد. از آنجا که همگی این کوششهای بی جا به مشابهتهای سطحی[۳۶] بین فرآیند هضم[۳۷] ویا فرآیند تخمیر[۳۸] با ساده‌ترین واکنشهای شیمیایی غیرآلی[۳۹] توجه داشت و اهمیتی بیش از حد برای آن قائل بود، به طوری که حتی موارد استعمال عجولانه در پزشکی را نیز پیشنهاد می کرد، مخالفتی را بوجود آورد که علامت بارزِ آن اطلاقِ نام «شیمی ـ پزشکی»[۴۰] به این تلاشهای زودرس وناپخته بود.

برای ما دلیل شکست کوششهای این پیشگامان، به منظور توضیح جامع[۴۱] خواص ارگانیسم‌های زنده با استفاده از قوانین فیزیك و شیمی روشن است: لازم

26. Blutkreislauf 27. Borelli 28. Funktion 29. Knochengerüst
30. Muskeln 31. Nervenreaktionen 32. Drüsensekretionen
33. Iatrophysiker 34. wachsende Kenntnis 35. Sylvius
36. Oberflächliche Analogien 37. Verdauungsprozess
38. Gärungsprozess 39. anorganische Reaktionen 40. Iatrochemie
41. zusammenfassende Erklärung

بود بدواً نه تنها انتظار عصر «لاووازیه»[۴۲] را بکشیم تا کشف اصول شیمی[۴۳] کلید فهم پدیدهٔ تنفس[۴۴] را به دست دهد و بعد گسترش فوق العادهٔ آنچه را که شیمی آلی[۴۵] می نامیم بنیان نهد، بلکه، تا پیش از کشف «گالوانی»[۴۶] هنوز قوانین اساسی فیزیك[۴۷] پوشیده بود. در این زمینه قابل ذکر است که این تحقیق در زیست شناسی بود که بنایی را پایه نهاد که بعدها به دست ولتا[۴۸]، اورستد[۴۹]، فارادی[۵۰]، وماکسول[۵۱] به آن چنان بنایی[۵۲] تبدیل شد که از نظر اهمیت با مکانیك نیوتونی رقابت می کرد. مشکل بتوان تصور کرد که گسترش تجارب ساده[۵۳] بر روی اجسام دارای بارِ الکتریکی[۵۴] از جانب فرانکلین[۵۵] — هر چند ثمر بخش — بدون وجود ابزارهای اندازه گیری، که در طبیعت در سیستم اعصاب مرکزی[۵۶] حیوانات تکامل یافته[۵۷] موجود است، و بعدها به دست خود ما ساخته شد، خود به تنهایی می توانست تا سرحد مطالعهٔ جریانهای گالوانی[۵۸] پیش رود.

ذکر گسترش فوق العادهٔ فیزیك و شیمی — حتی به اختصار — از زمان گالوانی تاکنون و یا کشفیاتی که در تمامی زمینه‌های زیست شناسی در جریان قرن اخیر رخ داده است در این جا امکان پذیر نیست. بدین سبب تنها به یادآوری کار پیشگامانی چون «مالپیگی»[۵۹] و «اسپالانزانی»[۶۰] در این دانشگاه پر افتخار، به جنین شناسی[۶۱] و باکتری شناسی[۶۲] جدید منتهی شد، قناعت می کنیم، و به ذکر تحقیقات از گالوانی تا پژوهشگران برجستهٔ متأخر در فیزیولوژی اعصاب[۶۳] می پردازیم. علی رغم آن که به تدریج به درکی عمیق از جنبه‌های فیزیکی ـ شیمیایی بسیاری از واکنشهای خاص

42. Lavoisier 43. Grundprinzipien der Chemie
44. Atmungsvorgang 45. Organische Chemie 46. Galvani
47. fundamentale physikalischen Gesetze 48. Volta 49. Örsted
50. Farady 51. Maxwell 52. Gebäude
53. einfache Experimente 54. elektrisch geladene Körper
55. Franklin 56. Nervensystem 57. höhere Tiere
58. galvanische Ströme 59. Malpigi 60. Spallanzani
61. Embryologie 62. Bakteriologie 63. Nervenphysiologie

زیست شناختی نایل آمده ایم، ظرافت اعجاب انگیز[۶۴] ساختمان ارگانیسم ها[۶۵] و غنای[۶۶] مکانیسم های تنظیم[۶۷] مرتبط با یکدیگر، هنوز هم به حدی از آنچه تجربه بر روی طبیعت بی جان[۶۸] به ما یاد داده است فراتر می رود که چشم انداز تشریح فیزیکی ـ شیمیایی حیات بیش از هر وقت دیگر بعید به نظر می رسد. به راستی وقتی ما شاهد مجادلات علمی[۶۹] عمیقی چون کشفیات اخیر در مورد اثرات سم[۷۰] و خواص تکثیری[۷۱] برخی از ویروسها[۷۲] هستیم خود را در مقابل معضلی[۷۳] می یابیم که با همان حدّت و شدت یادآور مجادلهٔ دموکریتوس و ارسطو است.

درچنین وضعیتی، نظر ما دوباره به نظریهٔ اتمی معطوف می شود ــ هر چند که این بار در مقابل زمینهٔ بسیار متفاوتی قرار داریم. از زمانی که دالتون[۷۴] با استفاده از مفاهیم اتمیستی، قوانین کمّی حاکم بر ساختمان ترکیبهای شیمیایی[۷۵] را با موفقیت توضیح داد، نظریهٔ اتمی نه تنها ابزاری اساسی وراهنمایی مبری از خطا در تمامی استدلالها در شیمی گردید، بلکه با بهتر شدن روشهای تجربی در فیزیك، امکان مطالعهٔ پدیده هایی به وجود آمد که مستقیماً به کنش[۷۶] اتمهای منفرد[۷۷] وابسته است. چنین گسترشی بدین طریق نه تنها آخرین بقایای پیش داوریی[۷۸] را زدود که بنا بر آن، ارائه دلیل بر وجود بالفعل اتم[۷۹]، به دلیل بی دقتی[۸۰] دستگاههای حسی[۸۱]، از طریق تجربه هرگز امکان پذیر نیست، بلکه حتی ویژگیهای اتمیستی[۸۲] در قوانین حاکم بر طبیعت را ــ بیش از آن چه آموزهٔ[۸۳] قدیمی تقسیم پذیری محدود ماده[۸۴]

64. wunderbare Feinheit 65. Bau der Organismen

66. Reichtum 67. Regulierungsmechanismen 68. leblose Natur

69. wissenschaftliche Auseinandersetzungen 70. Giftwirkungen

71. Vermehrngseigenschaften 72. Viren 73. Dilemma

74. Dalton 75. chemische Verbindungen 76. Wirkung

77. Einzelne Atome 78. Vorurteil

79. tatsächliche Existenz der Atome 80. Grobheit

81. Sinnesorgane 82. atomistische Züge 83. Lehre

84. begrenzte Teilbarkeit der Materie

ارائه داده باشد ـ نشان داده است. همه می دانیم که یك چارچوب[۸۵] مفاهیم، که برای بیان تجربیاتِ زندگی روزانه مناسب باشد، و برای تدوین[۸۶] کلی نظام قوانین[۸۷] در تشریح رفتار[۸۸] اجسام ماکروسکپی[۸۹] معتبر باشد، و بالاخره بنای رفیع فیزیك کلاسیك را بسازد، در صورتی که بخواهد پدیده‌های کاملا اتمی را در برگیرد، باید اساساً گسترش یابد. برای روشن کردنِ امکاناتی که این دورنمای جدید در فلسفهٔ طبیعی، در زمینهٔ تعیین‌چگونگی برخورد با مسائل اساسی زیست شناسی، ارائه می‌دهد، لازم خواهد بود خطوط اساسی گسترشی را که منجّر به روشن شدن موقعیت ما در فیزیك اتمی گردیده، به اختصار یادآوری می کنیم.

همچنان که می‌دانیم، سرآغاز فیزیك اتمی جدید، تشخیص طبیعت اتمی[۹۰] الکتریسیته بود، که تحقیقات مشهور فاراده در الکترولیز گالوانی[۹۱] آن را نشان داد؛ وبعد از این، کشف الکترون در پدیدهٔ تخلیهٔ الکتریکی[۹۲] از میان گازهای با غلظت[۹۳] کم بود، که در پایان قرن گذشته این مطلب را تأیید کرد. تحقیقات درخشان تامسون[۹۴]، اگر چه نقش اساسی الکترون در پدیده‌های فیزیکی و شیمیایی مختلف را روشن ساخت، برای حصول به شناختی جامع از اجزای ساختمانی ماده[۹۵]، باید در انتظار کشف راترفورد از هستهٔ اتمی[۹۶] می ماندیم، که اثر بدیعش در تبدیلات خود به خود رادیواکتیوی[۹۷] برخی از عناصر سنگین[۹۸]، نشان داده شد. برای اولین بار چنین کشفی توضیح غیرقابل تردیدی از تغییرناپذیری[۹۹] عناصر در واکنشهای شیمیایی معمول، که در آنها هسته‌های سنگین اما بسیار کوچك اتمی دست نخورده باقی می‌ماند، و تنها توزیع[۱۰۰] الکترون‌های سبك پیرامون آن تغییر می یابد،

85. Rahmen 86. Formulierung 87. System der Gesetze
88. Verhalten 89. makroskopische Körper 90. atomische Natur
91. Galvanische Elektrolyse 92. elektrishce Entladungsphänomen
93. verdünnte Gasen 94. J.J.Thomson 95. Bausteine der Materie
96. Atomkern 97. spontane radioaktive Umwandlungen
98. schwere Elemente 99. Unveränderlichkeit 100. Verteilung

همچنین امکان فهم رادیو اکتیو یتهٔ طبیعی[۱۰۱] را که در آنها با انفَجار[۱۰۲] هستهٔ اتمی سر وکار داریم، ارائه داد. علاوه بر این راتر فورد بعدها نشان داد که تبدیل عناصر از طریق بمباران[۱۰۳] آنها توسط ذرات سنگین[۱۰۴] و با سرعت زیاد، که برخوردشان[۱۰۵] با هسته‌های اتمی موجب تلاشی[۱۰۶] آنها می گردد امکان پذیر است.

برای آن که در این جلسه زیاد از موضوع دور نشویم، از وارد شدن در تحقیقات ثمر بخشی که راه را برای مطالعهٔ تبدیلات هسته‌ای[۱۰۷] باز کرد، اجتناب می کنیم. تحقیقات مذکور، موضوع اصلی بحث ما با فیزیکدانها در این کنگره خواهد بود. مسئلهٔ اصلی در این بحث، در صورتی که بخواهیم مصالح تجربی[۱۰۸] به دست آمده در فیزیك وشیمی را به کمك الگوی اتمی پیشنهادی راترفورد مورد نظر قراردهیم، بیان لزوم آشکار اعراض قطعی از نظریات مکانیکی و الکترومغناطیسی کلاسیك است. علی رغم هماهنگی در حرکات سیارات[۱۰۹] که قوانین کپلر[۱۱۰] بیانگر و مکانیك نیوتونی واضع آن است، مشاهده می شود که الگوهای مکانیکی، مانند نظام خورشیدی[۱۱۱]، که به هنگام بروز اختلالی[۱۱۲]، مثلا از طریق یك ستارهٔ دنباله‌دار[۱۱۳] تمایل به بازگشت حالت اولیه[۱۱۴] را ندارد، از پایداریی برخوردار نیست که ویژه عناصر تعیین کننده ترتیب وضعی الکترونها[۱۱۶] در اتم است. پایداری ویژهٔ اتم‌ها، به خصوص هنگام تجزیهٔ طیفی[۱۱۷] آشکار می شود. تجزیهٔ طیفی، همچنان که می دانیم، نشان داده است که هر عنصر، طیف[۱۱۸] مخصوص به خود را

101. natürliche radioaktiven Phänomene 102. Explosion
103. Beschießung 104. Schwere Teilchen 105. Zusammenstoß
106. Zerfall 107. Kernumwandlungen 108. Erfahrungsmaterial
109. planetarische Bewegungen 110. Keplersche Gesetze
111. Sonnensystem 112. Störung 113. Komet
114. ursprünglicher Zustand 115. Stabilität
116. Elektronenkonfiguration 117. Spektralanalyse 118. Spektrum

دارا است که مرکب از خطوط بسیار ظریف است و به حدی مستقل از شرایط خارجی[۱۱۹] است که حتی می توان از طریق مشاهدات طیف نمایی ترکیب مادی[۱۲۰] دورترین ستارگان را تعیین کرد.

کلید حل این معضل را پلانك از طریق کشف کوانتوم کنش[۱۲۱]، که محصول تعمق در شاخهٔ دیگری از فیزیك است، به دست داد. چنان که می دانیم، تحلیل دقیق پلانك از خصلت تعادل حرارتی[۱۲۲] میان ماده و تابشهایی[۱۲۳] که بنابر اصول عمومی ترمودینامیك باید کاملا مستقل از هرگونه خاصیتی از ماده، و نتیجتاً مستقل از هرگونه نظری دربارهٔ ترکیب اتمها باشد، اورا بدین اکتشاف رهنمون ساخت. وجود کوانتوم کنشِ ابتدایی در واقع نشان دهندهٔ خصلت کاملا جدیدی از فردیّت[۱۲۴] فرآیندهای فیزیکی است؛ خصلتی که با قوانین کلاسیك مکانیك و الکترومغناطیس کاملا بیگانه است و اعتبار[۱۲۵] این قوانین را الزاماً به پدیده هایی محدود می کند که اثراتشان به نسبت یك کوانتوم بسیار بزرگ باشد، آن چنان که ثابت پلانك مقدار آن را به دست می دهد. چنین شرطی اگر چه در تجارب فیزیکی معمول برقرار است، به هیچ وجه نمی تواند در توضیح رفتار الکترون ها در اتم معتبر باشد، و فقط وجود کوانتوم کنش است که مانع جوشش[۱۲۶] الکترون ها با هسته های اتمی و تبدیل آنها به ذراتی خنثی با ابعادی بی نهایت کوچك[۱۲۷] می گردد.

توصیف بستگی هر یك از الکترون ها در میدان نیروی[۱۲۸] هسته، به شکل تسلسلی از فرآیندهای منفرد که اتم را از یك حالت ایستا به حالت دیگری انتقال می‌دهد و این که چنین عملی با انتشار انرژی آزاد به شکل کوانتوم تابش الکترومغناطیسی صورت می گیرد، نتیجه‌ای بود که بلافاصله از وضعیت بحث شده در بالا گرفته شد. چنین ادراکی، که در ارتباط نزدیك با توضیح موفق اینشتین از اثر

119. äuβere Bedingungen   120. stoffliche Zusammensetzung
121. Universeles Wirkungsquantum   122. Wärmegleichgewicht
123. Strahlungen   124. Individualität   125. Gültigkeit
126. Verschmelzung   127. verschwindende Größe   128. Kraftfeld

فوتوالكتريك[۱۲۹] بود، وتحقیقات مهم فرانك[۱۳۰] وهرتز[۱۳۱] درمورد تحریك خطوط طیفی[۱۳۲]، از طریق ضربه‌های الکترونی[۱۳۳] بر روی اتم، به درستی مؤید آن بود، نه تنها توضیحی آنی از غرابت خطوط طیفی به دست داد ــ که «بالمر»[۱۳۴]، «ریدبرگ»[۱۳۵] و«ریتس»[۱۳۶] راهگشای آن بودند ــ بلکه تدریجاً به یاری مطالعات طیف نمایی، طبقه‌بندی منظم[۱۳۷] انواع بستگی های ایستا در هر الکترونِ يك اتم ممکن شد وراه برای توضیح جامع روابط قابل توجه موجود در خواص فیزیکی و شیمیایی عناصر را، که جدول مشهور تناوبی[۱۳۸] مندلیف بیانگر آن است، هموار ساخت. درحالی که چنین برداشتی ازخواص موادواقع گرایانه به نظر می رسید واز رؤیای پیروان فیثاغورس که درآرمان باستانی خودمی خواستند همهٔ قوانین طبیعی را به اعداد تبدیل کنند، بسیارفراتر رفته بود، قبول فردیت خاص به خود فرآیندهای اتمی، ازجانب دیگر، اعراض اصولی[۱۳۹] ازروابط علّی بین رویدادهای فیزیکی را، که بنیان بی چون و چرای فلسفهٔ طبیعی در طی قرون و اعصار بود، ایجاب کرد.

مسئلهٔ بازگشت[۱۴۰] به نوعی توصیف سازگار[۱۴۱] با اصل علّیت را، نه تنها تجارب قطعی متعدد در این زمینه، منتفی دانست، بلکه نشان داد که امکان سعی بر به وجود آوردن يك توصیف که درآن، وجود کوانتوم کنش درنظریهٔ اتمی به حساب آورده شده است، وجوددارد. توصیفی که اساساً متکی بر مکانیك اتمی آماری[۱۴۲] است وازنظر سازگاری و تمامیت کاملا با ساختار مکانیك کلاسیك قابل قیاس است و يك عمومیت منطقی دارد. تأسیس این به اصطلاح مکانیك کوانتومی جدید، که گسترش آن بیش از هر چیز ثمرهٔ تلاشهای فیزیکدانهای نسل جوان است، صرف نظر از سودمندی فوق العادهٔ آن در تمامی زمینه‌های فیزیك اتمی و شیمی، اساس

129. photoelektrisches Effekt 130. Franck 131. Hertz

132. Anregung von Spektrallinien 133. Elektronenstöße

134. Balmer 135. Rydberg 136. Ritz

137. systematische Klassifizierung 138. Periodisches System

139. prinzipieller Verzicht 140. Rückkehr 141. vereinbar

142. statistische Atommechanik

معرفتشناختی[۱۴۳] تحلیل و ترکیب پدیده‌های اتمی را نیز اساساً روشن کرد. تجدیدنظر[۱۴۴] در مسئلهٔ مشاهده[۱۴۵]، که هایزنبرگ با وضع اصل عدم قطعیّت آن را برای اولین بار مطرح کرد، منجر به پیدایش پیش تصوراتی شد که تاکنون بدانها توجه نشده بود و منتهی به استفادهٔ روشن از حتی ابتدایی ترین مفاهیمی گردید که تشرح ما از پدیده‌های طبیعی متکی بر آنها است. در این جا نکتهٔ اساسی قبول این مطلب است که هرگونه اقدامی، که قصد تحلیل «فردیت» ناشی از وجود کوانتوم کنش در پدیده‌های اتمی، به یاری روشها و مفاهیم فیزیك کلاسیك را داشته باشد، منجر به شکست خواهد شد؛ زیرا که برهمکنش[۱۴۷] بین اجسام اتمی ودستگاههای اندازه‌گیری[۱۴۸] لازم برای انجام دادن چنین تحلیلی اجتناب ناپذیر است.

یك نتیجهٔ بلافصل از چنین وضعیتی این است که مشاهداتی که به کمك آرایشهای تجربی[۱۴۹] مختلف بر روی اشیای اتمی[۱۵۰]، به منظور مطالعهٔ رفتار آنها صورت می گیرد، نمی تواند به مصداق معمول در فیزیك کلاسیك با یکدیگر جمع شود؛ و به خصوص این که هرگونه راهِ فرضی که قصدش تعیین مختصاتِ فضا[۱۵۱] و زمان[۱۵۲] یك الکترون باشد، مبادلهٔ[۱۵۳] اصولا غیرقابل مهاری[۱۵۴] از انرژی و تکان بین اتم ودستگاههای اندازه‌گیری را موجب می شود، که قانونمندیهای[۱۵۵] خاص به خود پایداری اتم ها را، که کوانتوم کنش مسئول آن است، به کلی برهم می ریزد. از طرف دیگر، هرگونه تحقیق دربارهٔ چنین قوانینی، که نتایج آن اصل بقای انرژی[۱۵۶] و تکان است، خود اعراض از تعیین موضع[۱۵۷] الکترون‌های فردی اتم در زمان و مکان را به ما تحمیل می کند. نتیجتاً به جنبه‌های مختلف پدیده‌های کوانتومی، که در تحت شرایط تجربی مانعة الجمع با یکدیگر[۱۵۸] پدیدار می شود، نباید همچون نتایج

143. erkenntnistheoretische Grundlage
144. Revision
145. Beobachtungsproblem
146. Heisenberg
147. Wechselwirkung
148. Messgeräte
149. Versuchsanordnungen
150. atomare Objekte
151. Raum
152. Zeit
153. Austausch
154. Unkontrollierbar
155. Gesetzmäßigkeiten
156. Gesetz der Erhaltung von Energie
157. Lokalisierung
158. Ausschließende Versuchsbedingungen

ناسازگار[۱۵۹] با یکدیگر در نظر داشت، بلکه آنها را باید «مکمل»[۱۶۰] یکدیگر به مفهوم جدید این واژه دانست. مفهوم مکملی به هیچ وجه به معنای انصراف خودسرانه[۱۶۱] از تحلیل جامع پدیده‌های اتمی نیست، بلکه بالعکس بیان تلفیق منطقی[۱۶۲] ازمجموع تمامی تجربیات انباشته شده بر روی یکدیگر است، که فراتر از حدودی می رود که در آن، آرمان علّیت[۱۶۳] امکان کاربرد طبیعی خود را می یابد.

نمونهٔ ارزنده‌ای که نظریهٔ نسبیت[۱۶۴] ارائه می دهد تا تحقیقات معرفتشناختی با این گونه شواهد تداوم یابد، نباید کم ارزش تلقی شود، زیرا که این نظریه، با روشن ساختن پیش تصورات غیرمنتظره برای استفادهٔ بدون ابهام ازهمهٔ مفاهیم فیزیکی، امکانات جدیدی برای تلفیق پدیده‌های به ظاهر آشتی ناپذیر با یکدیگر ارائه داد. نیز باید بدین نکته توجه داشته باشیم که وضعیتی که گسترش اخیر نظریهٔ اتمی ایجاد کرده، در تمامی تاریخ فیزیک بی سابقه است. مجموعهٔ مفاهیم فیزیک کلاسیک، که، اینشتین با کار خود آنها را به درجهٔ بالای یکپارچگی[۱۶۵] و کمال[۱۶۶] رسانید، بر فرضی، مناسب با تجارب روزانهٔ ما ازپدیده‌های فیزیکی، استوار است که بنابر آن، تمایز بین رفتار اشیای مادی و مشاهدهٔ آنها ممکن است. برای آن که بتوانیم مصداقی بر تعلیماتی، که در نظریهٔ اتمی در مورد اعتبار این چنین تعمیم‌های آرمانی[۱۶۷] رایج وجود دارد، بیابیم، لازم است نظر خود را به شاخه‌هایی ازعلوم مانند روانشناسی و یا حتی مسائل معرفتشناختی، که متفکرین بزرگی چون بودا و لائوتسه، بدان مشغول بوده اند معطوف بداریم تا بتوانیم نوعی هماهنگی[۱۶۸] بین شراط ما به عنوان بازیگر و تماشاگر در نمایشنامهٔ عظیم هستی[۱۶۹] بیابیم. پذیرفتن نوعی مشابهت بین خصلت مطلقاً تجریدی مسائلی که در زمینه‌های مختلف تحقیقی بدور از یکدیگر پدیدار می شود، به هیچ وجه به معنای وارد کردن مفهوم استمداد ازباطن[۱۷۰]، مفهومی بیگانه با روح علم در فیزیک اتمی نیست، بلکه بالعکس چنین مواردی ما را به این پرسش

159. widersprechend 160. komplementär 161. willkürlicher Verzicht

162. rationelle Synthese 163. Kausalitätsideal 164. Relativitätstheorie

165. Einheit 166. Vollständigkeit 167. Idealisierungen

168. Harmonie 169. Drama des Daseins 170. Mystizismus

می‌رساند که آیا راه‌حلی بر احکام باطلنمای[۱۷۱] غیرمنتظره که ما در کاربرد مفاهیم ساده در پدیده‌های اتمی استفاده می‌کنیم نمی‌تواند مشکلات ما در دیگر حوزه‌های تحقیقی[۱۷۲] را مرتفع سازد.

در مورد یافتن رابطه‌ای مستقیم بین حیات و یا آزادی اراده[۱۷۳] و آن ویژگیها از پدیده‌های اتمی، که فهمشان تنها با شکستن چارچوب بسیار محدود فیزیك کلاسیك ممکن است، تاکنون پیشنهادات فراوانی ارائه شده است. در حقیقت می‌توان ویژگیهای زیادی از واکنشهای ارگانیسم‌های زنده را، مانند حساسیت[۱۷۴] ادراك بصری[۱۷۵] یا جهش ژن[۱۷۶] مثلا با قرار گرفتن آن در معرض تابش نافذ[۱۷۷]، برشمرد که بدون تردید به تقویت تأثیرات فرآیندهای اتمی منفرد مرتبط است، و با آنچه که تکنیك تجربی[۱۷۸] در فیزیك اتمی بر آن استوار است تشابه دارد. مع‌الوصف تنها قبول این که ظرافت سازمان و مکانیسم‌های تنظیم[۱۷۹] در موجودات زنده از انتظارات ما بسیار فراتر می‌رود، برای توضیح درست حیات کافی نیست. در حقیقت، جنبه‌های کل‌گرا[۱۸۰] و غایتگرای پدیده‌های زیست‌شناختی را بدون تردید نمی‌توان بلافاصله با ویژگی فردیت فرآیندهای اتمی توضیح داد که با کشف کوانتوم کنش به‌دست آمده است؛ بلکه خصلت اساساً آماری مکانیك کوانتومی ممکن است در نظر اول حتی مشکلات درك درست قوانین زیست‌شناختی را افزایش دهد. رودررو با چنین معضلی، درس کلی از نظریهٔ اتمی این پیشنهاد را مطرح می‌سازد که تنها راه موجود برای هماهنگ کردن قوانین فیزیکی با مفاهیم مناسب بر توصیف پدیدهٔ حیات، همانا بررسی تفاوت ذاتی[۱۸۱] میان شرایط مشاهده در پدیده‌های فیزیکی و زیست‌شناختی است.

پیش از هر چیز باید توجه داشت که هرگونه آرایش تجربی برای مطالعهٔ رفتار

171. Paradoxien   172. Forschungsbereiche   173. Willensfreiheit
174. Empfindlichkeit   175. visuelle Sinneswahrnehmungen
176. Genmutationen   177. durchdringende Strahlung
178. Experimentiertechnik   179. Regulierungsmechanismen
180. holistische Eigenart   181. wesentlicher Unterschied

اتمهای سازندهٔ یك ارگانیسم، به حدی که در تجارب بنیادی فیزیك اتمی با اتمهای منفرد می توان انجام داد، امکان زنده نگاه داشتن آن ارگانیسم را منتفی می سازد. به علاوه، سوخت و ساز[۱۸۲] بلاانقطاعی که خود بخشی تفکیك ناپذیر از حیات است، این امر را غیرممکن می سازد که به ارگانیسم ها همچون نظامی کاملا مشخص از ذرات مادی، به مانند خواص فیزیکی ـ شیمیایی معمول مواد، بنگریم. بدین ترتیب، به این نتیجه می‌رسیم که قانونمندی ویژهٔ زیست شناسی را باید همچون مکمّل قوانین طبیعی که برای توضیح خواّص اجسام بی جان ضروری است، و مشابه با رابطهٔ مکملّ یی است که میان خاصیت پایداری[۱۸۳] اتم ها و پدیده‌هایی که توصیف آنها با عباراتی از مختصات زمانی و مکانی[۱۸۴] ذرات متشکلهٔ آنها ممکن است، دانست. بدین معنی، باید به وجود حیات، چه به تعریف آن و چه به مشاهدهٔ آن در زیست شناسی، همچون شرطی مفروض[۱۸۵] توجه داشت که نمی توان بر آن دلیلی اقامه کرد. وجود کوانتوم کنش، به همراه اتمیسیتهٔ غایی ماده، بر همین منوال اصول مقدماتی فیزیك اتمی را تشکیل می دهد.

روشن است که این دیدگاه، هم از آموزه های افراطی مکانیسم وهم ازآموزه های حیاتگرا به دور است. چنین نظری، از طرفی، هرگونه مقایسهٔ بین ارگانیسم زنده و ماشین را ــ چه آنهایی که ساختمانی نسبتاً ساده دارد و محصول تصور «فیزیکدانهای پزشك» قدیمی است، وچه آنهایی که امروزه همچون پیشرفته‌ترین دستگاههای تقویت کننده به کار می گیریم و اغراق در مورد ظرافتشان می تواند لقب «کوانتیست های پزشك»[۱۸۶] را برای ما نیز به همراه می آورد ــ گمراه کننده می داند. از طرف دیگر، هرگونه اقدام به وضع دستهٔ خاصی از قوانین زیستی را، که ناسازگار با قوانینی باشد که تاکنون در فیزیك و شیمی استقرار یافته است محکوم می کند ــ همچنان که این روزها به دنبال کشفیاتی مهم در جنین شناسی[۱۸۷]، به

182. Stoffwechsel 183. Stabilitätseigenschaft

184. Raum-Zeitliche Koordinierung 185. gegebene Voraussetzung

186. Iatroquantiker 187. Embryologie

خصوص در مورد رشد[۱۸۸] و تقسیم سلولی[۱۸۹] پیشنهاداتی چند در این حوزه شده است. در این زمینه به ویژه میل دارم یادآوری کنم که امکان احتراز از چنین ناسازگاریهایی در چارچوب نظریهٔ مکملی را این واقعیت مهّم فراهم آورده است که هیچ یك از نتایج تحقیقات در زیست شناسی را نمی توان بدونِ ابهام با اصطلاحاتی جز اصطلاحات فیزیك و شیمی توصیف کرد. به همان منوالی که، توضیح هر تجربه، حتی در فیزیك اتمی، نهایتاً بستگی به استفاده از مفاهیمی دارد که برای ثبت آگاه تأثیرات حسی[۱۹۰] ما ضروری است.

این نکتهٔ اخیر ما را به حوزهٔ روانشناسی باز می گرداند؛ حوزه‌ای که در آن، مسائل مشاهده و تعریف آن در تحقیقات علمی، پیش از آن که در علوم طبیعی مطرح شده باشد، مدّنظر قرار گرفته بود. در تجربهٔ فیزیکی، چنان که می دانیم، عدم امکان تمایز میان پدیده‌ها به خودی خود[۱۹۱] ودرك آگاه[۱۹۲] از آنها، اعراض از توصیف علّی براساس الگوی فیزیك کلاسیك را خواستار است. استفاده از واژگانی چون «فکر»[۱۹۳] و «احساس»[۱۹۴] برای توصیف تجارب ذهنی[۱۹۵]، خود در این رابطه به بهترین وجهی یادآور رابطهٔ مکملی در فیزیك اتمی است. در این جا نمی خواهم بیشتر وارد جزئیات شوم. مقصودم تنها تأکید بر این واقعیت است که همین عدم امکان تمیز روشن بین ذهن[۱۹۶] وعین[۱۹۷] دردورن نگری[۱۹۸]، خود، زمینهٔ لازم برای ابراز آزادی اراده را فراهم می آورد. اما ربط دادن آزادی اراده و محدودیت قانون علّیت در فیزیك اتمی ــ همچنان که کراراً پیشنهاد شده ــ موردی خواهد بود که با وجود روحیه‌ای که به هنگام یادآوری مسائل زیست شناسی بدان اشاره کردیم، مطلقاً بیگانه است.

در خاتمهٔ صحبت امیدوارم که این جسارت را به فیزیکدانی که به بیرون ازحوزهٔ تخصصی خود سر درآورده است، خواهید بخشید؛ علی الخصوص در این فرصت

188. Wachstum
189. Teilung
190. Sinneseindrücke
191. Selbst
192. bewußte Wahrnehmung
193. Gedanke
194. Gefühl
195. psychische Erfahrungen
196. Subjekt
197. Objekt
198. Introspektion

خجسته که بحث میان فیزیکدانها و زیست شناسان گرد آمده در این کنگره، به منظور تجلیل از پیشگام[199] بزرگ نیز، که هر دو رشتهٔ علمی بسیار به اکتشافات بنیادی او مدیون است، می تواند بسیار سودمند باشد.

199. Pionier

مسائل معرفتشناختی در فیزیك و فرهنگهای بشری

قبول دعوت به صحبت در مقابل جمعی که متشکل از نمایندگان برجستهٔ علوم مردمشناسی[1] وقوم شناسی[2] بود، از جانب فیزیکدانی چون من، که طبعاً در این زمینه اطلاعات عمیقی ندارد، بی دغدغهٔ خاطر برایم ممکن نگردید. اگرچه جوّ تاریخی در این فرصت خاصّ یادآور وجوهی از مسئلهٔ حیات است که با وجوه مکرراً مورد بحث در این کنگره کاملا تفاوت دارد، با این وجود جلب توجه شما به مسائل محض معرفتشناختی، که گسترش فیزیك در سالهای اخیر با خود به همراه آورده است، و صحبت دربارهٔ تأثیرات این گسترش بر مسائل عام بشری، شاید بی فایده نباشد. هر چند که رشته‌های تخصصی ما با یکدیگر تفاوت زیاددارد، با این وجود به نظر می رسد که تعلیمات فیزیکدانها، مبنی بر این که در اعمال مفاهیم معمول بر تجربیاتی که از حدود تجارب روزانه فراتر می رود، نهایت احتیاط لازم است، می تواند به شیوه ای نو مخاطراتی را یادآور شود و آن قضاوت ما از دیدگاه فرهنگی است که در جوامع خودمان گسترش یافته است. این مطلب برای انسان گراها کاملا روشن است.

بدیهی است که تمایز قطعی بین فلسفهٔ طبیعی و فرهنگ بشری[3] ممکن نیست. این که علوم فیزیکی بخشی از تمدن ما را تشکیل می دهد، نه فقط از آن روست که تسلط ما بر نیروهای طبیعت به کلی شرایط زندگی مادی را تغییر داده، بلکه بیشتر

1. anthropologische Wissenschaften
2. ethnologishce Wissenschaften
3. menschliche Kultur

بدین سبب است که مطالعهٔ این علوم خود در روشن کردن زمینهٔ وجودی ما سهم به سزایی داشته است. ما دیگر خود را در مرکز عالم[۴] به عنوان موجوداتی ممتاز نمی‌دانیم که جوامع بداقبالتر به گرد ما و درمرز نیستی به سر می‌برند. این شناخت به برکت پیشرفت در نجوم[۵] و جغرافیا[۶] به دست آمده است و فهمیده‌ایم که بر روی سیارهٔ[۷] کوچك کروی شکلی[۸] در منظومهٔ شمسی[۹] زندگی می‌کنیم که خود بخش بسیار ناچیزی از نظامهای گسترده‌تر است. از این کشف که هر پدیدهٔ فیزیکی به دیدگاه مشاهده‌کننده وابسته است، چه درسی در مورد نسبی بودن تمامی داوریهای بشری آموخته‌ایم؟ نظریهٔ نسبیت، با مجبور کردن ما به بازنگری در فرضیه‌های نامبهمی، که کاربرد ما از مفاهیم — حتی ابتدایی‌ترین آنها همچون زمان و مکان — بر آنها استوار است، در وحدت بخشیدن به درك ما از عالم سهمی به سزا داشته است.

در حالی که به اهمیّت چنین کشفیات بزرگی در جهان بینی[۱۰] خود عمدتاً واقف شده‌ایم، درس معرفتشناختی غیرمنتظره‌ای را، که گسترش حوزهٔ تحقیقات فیزیکی جدید ارائه داده است، هنوز بدان حدّ مورد نظر قرار نداده‌ایم. نفوذ[۱۱] ما در جهان اتم، که تاکنون برایمان مسدود بود، به درستی واقعه‌ای بود که با سفر دریانوردان[۱۲]، به منظور کشف سرزمینهای ناشناخته، و اخترشناسان به منظور اکتشاف اعماق فضای سماوی، قابل مقایسه بود. همچنان که می‌دانیم، گسترش اعجاب انگیز فنّ تجربه در فیزیك نه تنها آخرین بقایای این اعتقاد قدیمی را زدود، که بی‌دقتی حواس ما برای همیشه مانع از تحصیل اطلاعات مستقیم دربارهٔ اتم‌های منفرد خواهد گردید، بلکه بالعکس نشان داد که اتم‌ها خود متشکل از ذرات بسیار کوچکتری است که می‌توان آنها را از یکدیگر تفکیك کرد و به مطالعهٔ جداگانهٔ خواص هر یك از آنها پرداخت. همچنین در حوزهٔ گیرای تجربه آموخته‌ایم که قوانینِ تاکنون شناخته شدهٔ طبیعت و تشکیل دهندهٔ بنای رفیع فیزیك کلاسیك، تنها وقتی معتبر است که مطالعهٔ ما به اجسامی محدود می‌شود که از تعداد نامحدودی اتم تشکیل یافته

4. Mittelpunkt des Weltalls 5. Astronomie 6. Geographie
7. Weltkörper 8. kugelförmig 9. Sonnensystem
10. Weltbild 11. eindringen 12. Weltumsegler

باشد. معارف جدید که در مورد رفتار اتم های منفرد و ذرات اتمی تحصیل کرده ایم، همگی این واقعیت غیر منتظره را افشا می کند که تقسیم به جزء کنش های فیزیکی از حدود آموزهٔ قدیمی تقسیم پذیری محدود ماده به مراتب فراتر می رود و به هر فرایند اتمی «فردیت» خاص به خود را می دهد. چنین کشفی، اساس فهم پایداری ذاتی ساختارهای اتمی را، که نظم تجارب روزانه ما در آخرین تحلیل مشروط بدان است، به دست داد.

گسترش فیزیك ما را به تغییری بنیانی در نظرمان در مواجه شدن با توصیف طبیعت واداشت. آنچه که بیش از هر چیز این مطلب را به روشنی نشان می دهد، این واقعیت است که چارچوب اصل علیت، که تاکنون مانند بنیان بی چون و چرای هرگونه تفسیری از پدیده های طبیعی بود، هنگام در بر گرفتن قوانین کاملا ویژهٔ حاکم بر اتم ها خودرا ناتوان نشان داد. همه می دانیم که دلایل محکمی فیزیکدانها را مجبور به اعراض از آرمان علیت نمود. مطالعهٔ پدیده های اتمی این را نیز به ما آموخت که برخی سؤالات، که پاسخ بدانها را قطعی می پنداشتیم، هنوز هم شگفتیهایی را برای ما در بردارد. همگی شما مسلماً معمایی را که در سالهای اخیر ابتدایی ترین مسائل خواص نور وماده برای ما مطرح کرده است، و فیزیکدانهای معاصر را به سرگردانی کشانده است، شنیده اید. تضادهای ظاهری که در این مورد با آن روبرو هستیم، فی الوقع همان حد حاد است که در اوایل قرن اخیر گسترش نظریهٔ نسبیت موجب شد. این تضادها را تنها از طریق بررسی دقیقتر محدودیتی که تجارب جدید به استفادهٔ روشن از مفاهیمی تحمیل می کند که در توصیف پدیده ها وارد می شود، توانستیم از میان برداریم. ضمن این که نکته اساسی در نظریهٔ نسبیت قبول این مطلب بود که دو ناظر نسبت به یکدیگر متحرك، رفتار اشیا را اساساً متفاوت با یکدیگر توصیف خواهند کرد، روشن شدن تناقضات در فیزیك اتمی این واقعیت را افشا کرد که همکنش اجتناب ناپذیر بین یك شیء ودستگاه اندازه گیری، حد مطلقی را بر امکان صحبت ازرفتار اشیای اتمی، مستقل از ابزارمشاهده، تحمیل می کند.

در این جا خود را در مقابل مسئلهٔ معرفتشناختی کاملا جدیدی در علوم طبیعی می یابیم. تشریح تجارب ما تاکنون بر این فرض[13]، که به ذات قراردادهای معمول

13. Annahme

در زبان مربوط است، استوار بود که امکان تفکیك قاطع رفتار خاص اشیا و ابزارهای مشاهده موجود است. تجارب روزانهٔ ما نه تنها این فرض را به درستی توجیه می کند، بلکه همین فرض اساس فیزیك کلاسیك را تشکیل می دهد که نظریهٔ نسبیت خود به درستی آن را به کمالی اعجاب انگیز رسانید. اما همین که خود را سرگرمِ به پدیده هایی می کنیم، که همچون فرآیندهای اتمی فردی، به دلیل طبیعت خود، ذاتاً از طریق برهمکنش اشیای مورد مطالعه و دستگاههای اندازه گیری مشخص می گردد، که در تعیین شرایط تجربی ضروری است، باید با بررسی دقیقتر ببینیم که اصولا چه نوع شناختی را بدین طریق می توان از شیء مورد مطالعه تحصیل کرد. در این شرایط باید از طرفی بدین امر وقوف یابیم که هدف هر گونه تجربه‌ای در فیزیك تحصیل شناخت در شرایط قابل تکرار[14] و ابلاغ[15] است؛ امری که دست ما را تنها در این انتخاب باز می گذارد تا به هنگام توصیف، نه تنها ابزارهای اندازه گیری و طرز کارشان، بلکه نتایج تجربیات، و مفاهیم زندگی روزانه را، که خود از طریق اصطلاحات فیزیکی پالایش یافته است، به کار گیریم. از سوی دیگر دانستن این مطلب نیز مهّم است که هیچ گونه اطلاعاتی از پدیده‌ای که اصولا در خارج از حوزهٔ فیزیك کلاسیك باشد نمی تواند همچون اطلاعاتی از خواص مستقل اشیا تفسیرِ گردد؛ بلکه چنین اطلاعاتی ذاتاً جداناپذیر از وضعیت مشخصی است که اساساً توصیف آن به ابزارهای اندازه گیری یی که در همکنش با شیء مورد مطالعه است، نیازمند است. این واقعیت تضادهای ظاهری را، که هر بار به هنگام جمع نتایج به دست آمده از مطالعه اشیای اتمی به کمك آرایشهای تجربی مختلف و استخراج تصویری واحد از آن پدیدار می گردد، بلافاصله از میان برمی دارد.

اطلاعات به دست آمده دربارهٔ رفتار شیء اتمی واحد در شرایط تجربی کاملا مشخص اما متباین با یکدیگر را می توان بنا به اصطلاح جاری در فیزیك اتمی مکملی دانست بر اطلاعاتی که در مورد همان شیء در یك آرایش تجربی متفاوت به دست آمده است، که در آن، این شرایط مراعات نشده باشد. هر چند که جمع کردن این اطلاعات با یکدیگر به منظور استخراج تصویری واحد از آنها، که بتواند به

14. reproduzierbar   15. mitteilbar

کمك مفاهیم زندگی روزانه تشریح گردد، امکان پذیر نیست، اما این اطلاعات، هر یك به نوبهٔ خود، نمودار وجوهی اساسی از آن چیزی است که می توان در این زمینه در مورد شیء مذکور فرا گرفت. با شناخت خصلت مکملی مشابهتهای مکانیکی، که به کمك آنها کوشش می شود تا اثرات نوری[۱۶] مختلف روشن گردد، راه‌حل رضایت بخشی برای معماهایی یافتیم که در بالا بدانها در پیوند با خواص نور اشاره کردیم. به همین منوال، تنها با توجه به روابط مکملی موجود میان اطلاعات مختلف به دست آمده دربارهٔ رفتار ذرات اتمی است، که به فهم تباین آشکار بین خواص الگوهای مکانیکی معمول و قوانین کاملا خاص پایداری اتمها، که حاکم بر ساختارهای اتمی است واساس هر گونه توضیح دقیق ازخواص فیزیکی وشیمیایی ماده را تشکیل می دهد، موفق شدیم.

بدیهی است که در این جا قصد وارد شدن در جزئیات این موضوع را ندارم؛ امّا امیدوارم موفق شده باشم تصویری روشن از این واقعیت به دست دهم، که ما به هیچ وجه خودسرانه[۱۷] از تحلیل دقیق غنای شناخت فرآیندهٔ خود از جهان اتم دست نکشیدیم، بلکه بالعکس مسئلهٔ گسترش معقول و امکان طبقه‌بندی و فهم واقعیات جدید تجربی در میان است، که به دلیل طبیعت خود نمی تواند در چارچوب توصیف علّی جایگزین گردد. دیدگاه مکملی را، به دور از هر گونه استمداد از باطن[۱۸] که بیگانه با روح علم است، باید به عنوان تعمیم منطقی آرمان علیت در نظر داشت.

هر قدر که چنین تکاملی در فیزیك غیر منتظره به نظر می رسد، من یقین دارم که بسیاری از شما به رابطهٔ نزدیکی که بین وضعیت موجود در تحلیل پدیده های اتمی — آن چنان که به تشریح آن در بالا پرداختیم — و خصلت ویژه مسئلهٔ مشاهده در روانشناسی وجود دارد، پی برده‌اید. در واقع می‌توان گفت که گرایشهای روانشناختی جدید را به مثابه واکنشی بر ضد اقداماتی مشخص باید دانست که قصد دارد تجربه‌های ذهنی[۱۹] را به عناصر متشکلهٔ آن تجزیه کند و بعد به جمع آن عناصر، همچون داده های حاصله از اندازه گیری در فیزیك بپردازد. روشن است که به هنگام

16. Lichtwirkungen 17. willkürlich 18. Mystik
19. psychische Erfahrungen

درون نگری[۲۰] نیز غیرممکن است که بتوان بین خود پدیده‌ها و درك آگاه[۲۱] آنها تمایز دقیقی قائل شد. هر چند که غالباً بر این مدّعی هستیم که توجه‌مان را به این یا آن جنبهٔ ویژهٔ تجربهٔ فیزیکی معطوف داشته‌ایم، ولی بررسیهای دقیقتر نشان می‌دهد که در چنین مواردی نیز حقیقتاً با حالاتی متباین سروکار داریم. این گفته[۲۲] قدیم حکما[۲۳] را همه شنیده‌ایم که کوشش به تحلیل احساس[۲۴]، خود باعث از بین رفتن آن احساس می‌شود. بدین معنا میان تجارب روانی، که در توصیفشان واژه‌هایی مانند «فکر»[۲۵] و «احساس» را به کار می‌گیریم، رابطه‌ای مکملی موجود است که با رابطهٔ مکملی به‌دست آمدنی در رفتار اتم تحت شرایط تجربی مختلف، و از آنجا با استنتاج آن نتایج به کمك تصورات معمول ما مشابهت دارد. طبیعی است که در این جا از چنین مقایسه‌ای به هیچ وجه قصد پیشنهاد رابطهٔ مستقیمی بین فیزیك اتمی و روانشناسی را نداریم، بلکه تنها می‌خواهیم مشابهت صرفاً معرفتشناختی‌یی را خاطرنشان سازیم و از خود سؤال کنیم که تاچه حد مسائل فیزیکی نسبتاً ساده می‌تواند مسائل روانشناختی پیچیده‌تری را که زندگی بشری مطرح کرده است و مردمشناسان و قوم‌شناسان کراراً در تحقیقات خود بدان برخورد می‌کنند، روشن کنیم.

اکنون موضوع اصلی صحبت خود، یعنی تأثیر این دیدگاهها بر مقایسهٔ بین فرهنگهای بشری را مورد بررسی قرار می‌دهیم. نخست رابطهٔ مکملی نوعی را در بین حالتهای رفتاری موجودات که به برخی نام «غریزه»[۲۶] و به برخی دیگر نام «عقل»[۲۷] می‌نهیم، خاطرنشان می‌سازیم. کاملا درست است که بدین واژه‌ها می‌توان معانی مختلفی را نسبت داد. مثلا غریزه می‌تواند به معنای نیرویی محرك[۲۸] و یا رفتاری ارثی[۲۹] باشد، و از عقل می‌توان درك عمیق[۳۰] و یا تفکر آگاه[۳۱] را مفهوم داشت. امّا آنچه که در این جا مورد توجه ما است تنها استفادهٔ عملی از این واژه‌ها به

20. Selbstbeobachtung 21. bewusste Erfassung 22. Ausspruch
23. Weisen 24. Gefühl 25. Gedanke 26. Instinkt
27. Vernunft 28. Treibkraft 29. ererbtes Verhalten
30. tiferes Verständnis 31. Bewusstes Denken

آنها مفصلا تجزیه و تحلیل گردد. وقتی می خواهیم ملل مختلف یا حتی اقوام مختلف در درون یك ملت را مشخص کنیم، می توانیم مشخصه‌های ژنتیکی و سنن فرهنگی را کاملا مستقل از یکدیگر بدانیم و حتی گاهی بدین فکر بیفتیم که صفت «انسانی» را بنا به تعریف در مورد خصوصیاتی به کار بریم که مستقیماً مربوط به توارث جسمی[۴۳] نباشد.

در نظر اول ممکن است به نظر رسد که چنین نظری برای دیدگاه دیالکتیکی محض[۴۴] اهمیتی بیش از حد قائل است. اما تمامی تاریخ تکامل علوم فیزیکی به ما می آموزد که بذر[۴۵] هرگونه پیشرفتی غالباً در انتخاب صحیح تعاریف موجود نهفته است. وضوح و روشنی که نظریهٔ نسبیت در فیزیك به وجود آورد و تأثیر آن بر دیگر رشته‌های علمی به‌درستی‌مؤید این نظر است. همچنان که قبلا نیز اشاره کردیم، نظریه نسبیت می تواند در راهنمایی ما برای درك عینی‌تر روابط بین فرهنگهای بشری سودمند باشد، زیرا که تفاوت سنتی میان این فرهنگها در خیلی ازموارد معادل تفاوتهایی است که نتایج تجارب فیزیکی با یکدیگر دارد. با وجود این، تشابه میان مسائل علوم فیزیکی و علوم انسانی دارای دامنهٔ محدودی است و مبالغه در وجود چنین مشابهتهایی حتی موجب شناخت نادرست از جوهرهٔ نظریهٔ نسبیت گردیده است. این نکته را نباید نادیده گرفت که وحدت در تصور نسبی از جهان دقیقاً این امکان را ایجاب می کند که هر ناظری بتواند در چارچوب خود از مفاهیم، پیش بینی کند که یك ناظر دیگر در چارچوب طبیعی خود از مفاهیم، تجارب او را چگونه می بیند. مانع اصلی که ما را ازدرك بدون پیش داوری ازرابطهٔ بین فرهنگهای مختلف بازمی دارد، همانا اختلاف عمیق در بافت سنتی است، که در هر جامعه وحدت نظر در برابر مسئلهٔ حیات، متکی بر آن است؛ و این خود مانع مقایسهٔ ساده و صحیح نظرات مختلف از مسئلهٔ حیات با یکدیگر می گردد.

دیدگاه مکملی در این زمینه خود را همچون وسیلهٔ استیلا بر این وضع پیشنهاد می کند. هنگامی که فرهنگهای متفاوت با فرهنگ خود را مطالعه می کنیم، خود را فی الواقع در مقابل مسئلهٔ خاص مشاهده می یابیم؛ مسئله‌ای که با دقیق شدن در آن به

43. Körperliche Vererbung

44. rein dialektischer Gesichtpunkt

45. Keim

وجوه مشترکش با مسائل اتمی وروانی می توان پی برد. در این مورد برهمکنش میان شیء و ابزار اندازه گیری، و یا به عبارتی تفکیک ناپذیری محتوای عینی[46] از فاعل ناظر[47] مانع از استعمال بلاواسطهٔ قراردادهای جاری در زبان، که متناسب با تجارب روزانه باشد، می گردد. به همین منوال، در مطالعهٔ فرهنگهای اقوام بدوی تر، قوم شناسان نه فقط به مخاطراتی واقفند که این مطالعات ــ به دلیل تماس خود با این اقوام ــ می تواند داشته باشد، بلکه حتی می آموزند که تاچه حد چنین مطالعاتی بر اعتقاد آنان از مسئلهٔ حیات تأثیر می گذارد. در این جا به نمونهٔ ارزنده‌ای که پژوهشگران با آن آشنایی دارند اشاره می کنم. همگی این پژوهشگران معترفند که پیش داوریهای ناآگاهشان با مشاهدهٔ غیر مترقبهٔ هماهنگی درونی زندگی انسانها ــ حتی آنهایی که زندگی کاملا متفاوتی با ما دارند ــ یك باره از ریشه و بن تکان خورده است. در این مورد به ذکر این مثال موثر می پردازیم که در بعضی از جوامع، نقش مرد و زن، نه فقط در ارتباط با وظایف خانگی و اجتماعی، بلکه حتی در رفتار و طرز فکر با یکدیگر تعویض شده است. هر چند که ممکن است بسیاری در میان ما با تردید بپذیرند که تنها بازی سرنوشت به این اقوام فرهنگ خاص خود و به ما فرهنگ خود را داده است و بالعکس، روشن است که کوچکترین سوءظنی در این جهت خیانت به غرور ملی را می تواند معنی دهد، که ملازم به هر فرهنگ اصیلی است.

همچنان که در فیزیك اتمی، واژهٔ مکمل را به کار می بریم تا رابطهٔ میان تجاربی را مشخص سازیم که به کمك آرایشهای تجربی مختلف به دست آورده ایم، و این نتایج را تنها به کمك تصورات مختلف می توانیم توضیح دهیم، به همان صورت نیز می توانیم بگوییم که فرهنگهای مختلف مکمل یکدیگر است. در حقیقت هر فرهنگی نمودار تعادلی بین قراردادهای سنتی است که به واسطهٔ آنها امکانات مکتون زندگی بشری گسترش می یابد، و بدین طریق وجوه مختلف تنوع بی حد خود را افشا می کند. مسلم است که در این جا نمی تواند صحبت از تباین مطلق، به معنایی باشد که بین تجارب مکمل در فیزیك اتمی وجود دارد، زیرا به ندرت فرهنگی پیدا می شود که آن را بتوان مطلقاً اصیل دانست. همگی نمونه‌هایی از تماسهای کم و بیش

46. objektiver Inhalt 47. beobachtendes Subjeke

نزدیك میان جوامع مختلف را می شناسیم که بالعکس به ادغام تدریجی سنن آنها در یکدیگر و از آن جا به تولد فرهنگی کاملا جدید منتهی شده است. از این نظر نقش درهم آمیزی ملل مختلف، به دلیل مهاجرت و یا فتح سرزمینهای یکدیگر، در پیشرفت تمدن، به بحث نیازی ندارد. هدف عالی علوم انسانی شاید این باشد که با شناخت فزایندهٔ خود از تاریخ تحول فرهنگهای بشری به تدریج پیش‌داوریها را بزداید و بدین طریق به هدف مشترك تمامی علوم نزدیکتر گردد.

همچنان که در آغاز صحبت خود گفتم، کمك مستقیم من در حل مسائل مورد بحث بین متخصصین حاضر در این جمع نمی تواند به هیچ وجه مطرح باشد، بدین سبب تنها کوشش کردم تصویری از درك عام نظریهٔ شناخت را به دست بدهم که در موردی به ما تحمیل شده است که از عشق بشری همانقدر به دور است که از تجارب سادهٔ فیزیکی. نمی دانم آیا موفق به یافتن واژهٔ مناسب برای ارائه این تصویر به شما شده ام یا خیر. پیش از این که به صحبت خود پایان دهم، میل دارم تجربه‌ای را برایتان نقل کنم که روزی مرا با حدت هرچه تمام متوجه نقصهایم در این مورد کرد. یك بار برای این که به حاضرین در جمعی توضیح دهم که واژهٔ «پیش‌داوری» را به کار نمی گیرم تا دیگر فرهنگها را محکوم کنم، به شوخی رو به آنها کردم و گفتم که داشتن برخی از پیش‌داوریها در این جا، یعنی دانمارك، در مورد برادران سوئدیمان در آن طرف سوند[48] زیبا، که از این پنجره ها می توانیم ببینیم، و قرنها با آنها حتی در میان دیوارهای این قصر جنگیده ایم و از آنها طی قرون و اعصار بسیار چیزها آموخته‌ایم، خود نوعی سنت است. همین که صحبتم تمام شد یکی از حضار به سراغم آمد و گفت که نمی تواند بفهمد که چرا من از سوئدیها بیزارم. اکنون می توانید تصور کنید که من آن روز تا چه حد منقلب شده بودم. در آن روز ظاهراً باید نامفهوم صحبت کرده باشم و امروز هم می ترسم منظورهای خود را به روشنی بیان نکرده باشم. با وجود این امیدوارم ابهام در صحبتهای امروزم چنین سوءتفاهمهایی را موجب نگردد.

48. Sund

بحث با اینشتین دربارهٔ مسائل معرفتشناختی فیزیك اتمی

هنگامی که ناشر مجموعهٔ «فیلسوفان معاصر»[1] از من درخواست کرد تا مقاله‌ای برای این دوره بنویسم که در آن دانشمندان معاصر از کارهای پیشرو آلبرت اینشتین در پیشبرد فلسفهٔ علوم طبیعی تجلیل کنند و به نام تمامی نسل حاضر از او به خاطر راهی که نبوغش در پیش ما گشود قدردانی کنند، بدین فکر افتادم که این شاید بهترین راه برای ابراز دینِ خویش به الهامات[2] اینشتین باشد. در همین جا فرصتهای مکرری به یکباره در خاطرم زنده گشت که طی سالیان نصیبم شده بود تا با اینشتین دربارهٔ مسائل معرفتشناختی، که در نتیجهٔ توسعهٔ اخیر فیزیك اتمی مطرح شده بود، به بحث بنشینم. بدین سبب گمان کردم که سهم خود را تنها وقتی می‌توانم ادا کنم که به گزارش دربارهٔ بحثهایی بپردازم که برای من بسیار ثمربخش و شوق‌انگیز بوده است. همچنین امیدوارم که این گزارش بتواند نقش اساسی تبادل آراء و عقاید[3] در پیشرفت علمی را، و این که تجربیات[4] جدید چگونه ما را بلاانقطاع به تجدیدنظر در ادراکمان وامی‌دارد، به محافل علمی وسیعتری نشان دهد.

مسئلهٔ اساسی از همان آغاز بحث موضعی بود که باید در مقابل مسئلهٔ اعراض از برخی از اصول معمول فلسفهٔ طبیعی اتخاذ می‌کردیم. اعراض از این اصول

1. Living Philosophers 2. Inspiration 3. Gedankenaustausch
4. Erfahrungen

ویژگیهای پیشرفتهای اخیر در فیزیك است که نقطهٔ شروع آن در نخستین سال این قرن کشف کوانتوم عام کنش توسط پلانك بود. کشف پلانك از خصلت اتمیسیته در قوانین طبیعت، که بسیار فراتر از درس قدیمی تقسیم‌پذیری محدود ماده می‌رود، پرده برداشت و به ما فهماند که نظریه‌های کلاسیك فیزیك فی‌الواقع ذهنیات آرمانی است که تنها در حدی می‌تواند بدون ابهام اعمال شود که در تحت آن همهٔ کنشها در مقایسه با کوانتوم بزرگ است. مسئلهٔ مورد بحث این بود که آیا به اعراض از شیوهٔ توصیف علّی فرایندهای اتمی، که کوشش به تسلط بر موقعیت جدید آن را ایجاب می‌کرد، می‌بایست همچون اعراض از آرمانی نظر داشت که سرانجام پیدا خواهد شد، یا این که مسئلهٔ مرحلهٔ بازگشت ناپذیر در راه ایجاد هماهنگی در تحلیل و ترکیب پدیده‌های فیزیکی درمیان بود. برای این که به شرح سابقهٔ بحث خود با اینشتین بپردازیم و استدلالهای مربوط به نظرگاههای مخالف را با روشنی هرچه تمام‌تر بیان کنم، به نظر می‌رسد یادآوری برخی ازوجوه پیشرفت در فیزیك، که اینشتین در آن نقش قاطع داشته، ضروری باشد.

چنان که می‌دانیم، روشن شدن رابطهٔ نزدیك میان قوانین ترمودینامیك و نظم آماری در نظامهای مکانیکی با تعداد کثیر درجات آزادی[5] توسط بولتزمن[6] بود که پلانك را در تحلیل مؤثرش از مسئلهٔ تابش حرارتی به کشف اساسی خود رهنمون کرد. درحالی که پلانك عمدتاً همّ خود را مصروف بررسیهای اساساً آماری می‌کرد و از هرگونه استنتاج قطعی در این مورد که وجود کوانتوم کنش تا چه حد اعراض از اصول مکانیك و الکترودینامیك را ایجاب می‌کند، اجتناب می‌کرد، کمك ابتکاری بزرگ اینشتین به نظریهٔ کوانتومی (۱۹۰۵) دقیقاً تشخیص این نکته بود که چگونه پدیده‌های فیزیکی از قبیل اثر فوتوالکتریك مستقیماً به اثرات کوانتومی فردی[7] بستگی دارد[(۱)]. اینشتین درست در همان سالهایی که با پیشبرد نظریهٔ نسبیت[8]، مبانی جدیدی برای فیزیك طرح می‌کرد، اندیشه بسیار جسورانهٔ اووجوه جدیدی از اتمیسیته را نیز یافت که در چارچوب فیزیك کلاسیك نمی‌گنجد.

5. Freiheitsgraden 6. Boltzmann 7. Individuelle Quanteneffekte

(1) A.Einstein, Ann. Phys, 17, 132 (1905) 8. Relativitätstheorie

اینشتین با فراستی تامّ و به طور مرحله به مرحله بدین نتیجه رسید که هر فرایند تابش[9] یا جذب[10] یا گسیل کوانتومهای فردی نوری یا «فوتونها» سروکار دارد که انرژی و یا تکان[11] آنها به ترتیب برابر است با:

$$E = h\nu \quad \text{und} \quad P = h\sigma, \tag{1}$$

که در آنها h همان ثابت پلانك است، و v و σ به ترتیب، تعداد ارتعاشات[12] در واحد زمان[13]، و تعداد امواج در واحد طول[14] است. صرف نظر از ثمربخشی چنین اکتشافی، مفهوم فوتون، خود معضل کاملا غیره منتظرهیی را موجب شد، زیرا تصور سادهٔ ذرهیی بودن تابش[15] به وضوح با اثرات تداخل[16] ناسازگار[17] است که خود خصلتی اساسی از پدیدهٔ تابش است و تنها با تصور موجی[18] می تواند توضیح داده شود. این واقعیت که اثرات تداخل تنها وسیلهای است که به کمك آن می توانیم مفاهیم بسامد و طول موج را، که خود در روابط انرژی و تکانهٔ فوتون نیز وارد می شود، تعریف کنیم، معضل ما را بیش از پیش تشدید کرد.

در چنین وضعی صحبت از تحلیل علّی پدیدههای تابشی نمی توانست در میان باشد، بلکه مسئله تنها برآورد احتمال فرایندهای فردی تابش، با استفادهٔ توام از تصاویر متقابل[19] می توانست مطرح باشد. ذکر این توضیح بسیار مهم است که در چنین شرایطی توسل به قوانین احتمالات اساساً هدفی جز ملاحظات آماری دارد که همگی بدان آشنا هستیم و همچون وسیلهای عملی در توضیح نظامهای مکانیکی با ساختمان بسیار پیچیده به کار می گیریم. حقیقت این است که در فیزیك کوانتومی با مشکلاتی از این دست مواجه نیستیم، بلکه این مسئله مطرح است که چارچوب مفاهیم کلاسیك خصلت ویژهٔ تقسیم ناپذیری[20] و یا «فردیت» را، که از مشخصات

9. Strahlungsvorgang 10. Absorption 11. Impuls
12. Schwingungszahl 13. Zeiteinheit 14. Längeneinheit
15. korpuskulares Bild der Strahlung 16. Interferenzeffekte
17. unvereinbar 18. Wellenbild 19. kontrastierende Bilder
20. Unteilbarkeit

فرایندهای بنیادی است، نمی تواند در خود بگنجاند.

شکست نظریه‌های فیزیك کلاسیك در توضیح پدیده‌های اتمی با شناخت بیشتر ما دربارهٔ ساختمان اتم، بیش از پیش تشدید شد، و ازهمه مهمتر این که کشف هستهٔ اتمی[۲۱] توسط راترفورد[۲۲] (۱۹۱۱) نشان داد که تاچه حد مفاهیم مکانیك و الکترومغناطیس کلاسیك ناتوان از توضیح پایداری ذاتی اتم بود. در این جا هم نظریهٔ کوانتومی وسیلهٔ روشن کردن این وضع است و به خصوص این امکان را به دست داد تا هم پایداری اتم‌ها و هم قوانین تجربی[۲۳] حاکم بر طیف عناصر[۲۴] را بر اساس این فرض[۲۵] توضیح دهیم که هر واکنش اتمی، که منجر به تغییر میزان انرژی اتم گردد، مستلزم عبور[۲۶] ازدوحالت کوانتومی ایستا است. وبه ویژه طیفهای یك اتم در فرایندی پله‌ای[۲۷] گسیل[۲۸] می شود که در آن هرگونه انتقالی با گسیل کوانتوم نوری تك‌رنگی[۲۹] همراه است که انرژی‌یی معادل با فوتون اینشتین دارد.

تجارب فرانك[۳۰] و هرتز[۳۱] (۱۹۱۴) در تحریك طیفها[۳۲] از طریق ضربه الکترون‌ها[۳۳] بر اتم، که دلیلی بر تأیید این نظرات بود، دلیلی دیگر بر لزوم اعراض از شیوهٔ تشریح علّی معمول ارائه داد، زیرا که این تغییر قوانین طیفی به وضوح ایجاب می کند اتم درحالت تحریك شده ازاین امکان عمدتاً باید برخوردار باشد تا انتقال با گسیل فوتون[۳۴] دریکی ازحالات با کمترین میزان انرژی صورت گیرد. در حقیقت. حتی فکر حالت ایستا با هرگونه قاعده‌ای ناسازگاراست که به تعیین نوع انتخاب می پردازد و جایی برای مفهوم احتمال نسبی فرایندهای منفرد انتقال[۳۵] بازمی گذارد. برای تخمین این گونه احتمالات تنها راهگشای ما اصل موسوم به تناظر بود که خود هنگام جستجوی رابطه‌ای حتی‌الامکان نزدیك میان تشریح

21. Atomkern 22. Rutherford 23. empirische Gesetze
24. Spektren der Elemente 25. Annahme 26. Übergang
27. stufenähnlicher Vorgang 28. emittieren 29. monochromatisch
30. Franck 31. Hertz 32. Anregung von Spektren
33. Elektronenstoss 34. Photonenemission
35. individuelle Übergangsprozesse

آماری فرایندهای اتمی و نتایج نظریه‌های کلاسیك کشف شده بود. اصل تناظر درصورتی که تأثیرات وارده درمیدان عمل در تمامی مراحل تحلیل پدیده بزرگتر از کوانتوم عام کنش باشد، معتبر است.

در آن زمان هنوز نظریهٔ عمومی کوانتومی که بری از تناقض[۳۶] باشد در نظر نداشتیم. برای این که اوضاع و احوالی را که آن زمان بر اندیشهٔ ما حاکم بود، به درستی نشان دهیم، شاید بهتر آن باشد به ذکر قسمتی از سخنرانی‌یی بپردازیم که نگارندهٔ این سطور در سال ۱۹۱۳ ایراد کرد[(۲)]:

«امیدوارم نظرات خودرا به روشنی توضیح داده باشم تا متوجه شوید که چقدر تضاد بین این گفته‌ها و نظریات قابل تحسین و کاملی که به حق نظریهٔ الکترودینامیك کلاسیك نامیده شده است وجود دارد. همچنین کوشش دارم تا این احساس را در شما نیز ایجاد کنم که با تحلیل دقیقتر این تضادها، این امکان به‌وجود خواهد آمد تا با گذشت زمان نوعی انتظام درمیان افکارجدید به وجود آوریم».

گام مهم دیگر درپیشبرد نظریهٔ کوانتومی را اینشتین با نوشتن مقالهٔ مشهورخود دربارهٔ تعادل تابشی در سال ۱۹۱۷[(۳)] برداشت. وی در مقالهٔ مزبور نشان داد که قانون تابش حرارتی پلانك را می‌توان به آسانی از فرضیاتی استنتاج کرد که با اندیشه‌های بنیانی نظریه کوانتومی در مورد ساختمان اتمی مطابقت دارد. بدین منظور، اینشتین دستورات آماری عمومی دربارهٔ وقوع انتقالهای تابشی میان حالات ایستا را صورتبندی کرد، با این فرض که نه تنها وقتی اتم درمیدان تابش[۳۷] قرارداشته باشد، عمل جذب و گسیل با احتمالی متناسب با شدت تابش[۳۸] انجام

36. widerspruchfrei

(2). N.Bohr, Fysik Tidsskrift 12, 89 (1944). (Englische Fassung «The Theory of Spectra and Atomic Constitution», Cambridge, University Press, 1922.)

(3). A.Einstein, Phy, Zschr. 18, 121 (1917)

37. Strahlungsfeld

38. Strahlungsintensität

می گیرد، بلکه حتی در غیاب اختلالات خارجی[۳۹] نیز احتمال فرایند گسیل خود به خود با شدتی انجام می پذیرد، که سرعتی متناسب با احتمال پیشینی[۴۰] مشخصی دارد. در مورد اخیر، اینشتین با تاکید کردن به مشابهت میان فرض های مربوط به وقوع انتقالات تابشی و قوانین معلوم حاکم بر تبدیلات مواد رادیواکتیوی[۴۱]، خصلت اساسی تشریح آماری را به بهترین وجهی خاطرنشان ساخت.

با بررسی عمیق شرایط ترمودینامیکی در مسئلهٔ تابش، اینشتین این معضل را بیش از پیش تشدید کرد. وی چنین استدلال کرد که: هر فرایند تابشی «یك جهتی» است بدین معنی که در یك فرایند جذب علاوه بر تکانهٔ فوتون که در جهت انتشار به یك اتم منتقل می شود، اتم گسیل شده نیز یك تکان معادل و خلاف جهت تکان فوتون دریافت خواهد کرد. اگرچه در تصور موجی، در یك فرایند گسیل هیچ تقدّمی برای یك جهت واحد وجود ندارد. نظر خود اینشتین در مقابل استنتاجی این چنین تعجب انگیز را، در بندی در آخر مقالهٔ فوق الذکر (صفحه ۱۲۷ و بعد) می توان یافت:

«ویژگیهای فرایندهای بنیادی، وضع نظریهٔ کوانتومی خاص به تابش را اجتناب ناپذیر می کند. ضعف این نظریه از یك طرف در این جاست که ما را به نظریهٔ موجی نزدیکتر نمی کند، و از طرف دیگر، زمان و جهت در فرایندهای بنیادی را به دست تصادف[۴۲] می سپارد. با وجود این بدرستی راهی که تاکنون رفته‌ایم، اعتماد کامل دارم.»

به هنگامی که در سال ۱۹۲۰ در برلن این افتخار بزرگ نصیبم شد تا با اینشتین ملاقات کنم، این مسائل اساسی موضوع گفتگوهای ما را تشکیل داد. این بحثها، که همواره فکرم متوجّه آنها است، علاوه بر آن که ما را به تحسین از اینشتین برانگیخت، این احساس را نیز در من ایجاد کرد که اینشتین آزاد از هرگونه نظری مبتنی بر پیش‌داوری[۴۳] است. عشق او به استفاده از استعاراتی چون «امواج

39. äussere Störungen　40. apriorische Wahrscheinlichkeit

41. Umwandlung radioaktiver Substanzen　42. Zufall　43. Vorurteil

اشباحی[۴۴] است که فوتون‌ها را هدایت می‌کند»، محققاً به هیچ وجه به معنای گرایش به استمداد از باطن[۴۵] نبود، بلکه بیشتر نشانگر طبع شوخ او بود. البته بین ما اختلاف در نگرش و نحوهٔ برخورد با مسائل باقی ماند. اگرچه او استادانه می‌دانست تجارب به ظاهر متناقض با یکدیگر را بدون اعراض از آرمان علّیت و پیوستگی نظم و ترتیب دهد، امّا شاید کمتر از هر کس دیگری راغب بود از این آرمان دست بکشد که برایش تنها امکانی به نظر می‌رسید تا بتوان به داده‌های تجربی گوناگون که به دنبال تحقیق در پدیده‌های اتمی روز به روز انباشته برهم می‌شد، انتظام بخشد[۴۶].

در سالهای بعد که توجه محافل فزاینده فیزیکدانان بیشتر به مسائل اتمی جلب می‌شد، تضاد ظاهری در نظریهٔ کوانتومی هم بیش از هر وقت دیگر احساس می‌شد. بحثهایی که کشف اثر اشترن ـ گرلاخ[۴۷] در سال ۱۹۳۲ برانگیخت، خود نشانه‌ای از این وضع است. این کشف از طرفی فکر حالات ایستا و به خصوص نظریهٔ کوانتومی زمرفلد[۴۸] را در مورد اثر زیمان[۴۹] قویاً تأیید می‌کرد؛ و از طرف دیگر، هرگونه اقدام به ارائهٔ تصویری از رفتار اتم در میدان مغناطیسی را ــ همچنان که اینشتین و ارنفست[۵۰] آن را به روشنی نشان دادند[(۴)] ــ با مشکلاتی غلبه نیافتنی مواجه می‌ساخت. کشف کمپتون[۵۱] در سال ۱۹۲۴ از تغییرات طول موج، که انتشار پرتوهای X[۵۲] از طریق الکترون‌ها را به همراه دارد، احکام باطلنمای[۵۳] مشابهی را موجب شد. همچنان که می‌دانیم، این پدیده دلیلی بی‌واسطه بر صحت نظر اینشتین دربارهٔ انتقال انرژی و تکانه در فرایندهای تابش بود. این مطلب نیز روشن شد که هیچ تصور ساده‌ای از برخورد ذره‌ای[۵۴] نمی‌تواند این فرایند را کاملاً تشریح کند. به دلیل وجود چنین مشکلاتی، زمانی فرا رسید که حتی قانون بقای انرژی تکانه در

44. Gespenst 45. Mystizismus 46. koordinieren

47. Stern-Gerlach Effekt 48. Sommerfeld 49. Zeeman Effekt

50. Ehrenfest (4). Einstein und P.Ehrenfest, Z.Physik, 11, 31 (1922).

51. Compton 52. Röntgenstrahlen 53. Paradoxien

54. korpuskularer Zusammenstoß

فرایندهای منفرد مورد تردید قرار گرفت(۵). تجارب دقیقتری که بعداً همبستگی میان انحراف فوتون[۵۵] و عقب نشینی[۵۶] متقابل الکترون‌ها را به روشنی نشان داد، این تردیدها را زدود.

راه روشن شدن این وضع را بدواً نظریه کوانتومی قابل درك تری می بایست هموار کند. اولین گام در این جهت را دوبری[۵۷] در سال ۱۹۲۵ برداشت. او قبول کرد که دوگانگی موج ــ ذره تنها به ویژگیهای تابش محدود نمی شود و برای فهم ذرات مادی نیز ناگزیر به قبول آن هستیم. این فکر که تجارب بر روی پدیدهٔ تداخل الکترون آن را به شیوه‌ای قانع کننده به زودی تأیید کرد، از جانب اینشتین، که خود مشابهت عمیق میان خصوصیات تابش حرارتی و گازها در حالت به اصطلاح منحط[۵۸] را درك کرده بود(۶)، با خوشحالی پذیرفته شد. این مسیر فکری جدید را شرودینگر[۵۹] (۱۹۲۶) با موفقیت هر چه تمامتر دنبال کرد. وی به ویژه مشخص ساخت که چگونه حالات ایستای سیستم‌های اتمی را می توان از طریق جوابهای خاص[۶۰] معادلهٔ موج[۶۱] نشان داد. مشابهت صوری[۶۲] میان مسائل مکانیك و نور، که هامیلتون[۶۳] پیشتر بدان پی برده بود، شرودینگر را در این کار رهنمون شد. با وجود این، جنبه‌های متناقض در نظریهٔ کوانتومی نه تنها به هیچ وجه تخفیف نیافت، بلکه از یك طرف تضاد ظاهری میان آن چه را که اصل کلی برهمنهش[۶۴] ایجاب می کرد ــ اصلی که خود اساس تشریح موجی را تشکیل می‌دهد ــ و از طرف دیگر خصوصیات فردی[۶۵] فرایندهای اتمی[۶۶] بنیادی را تشدید کرد.

(5). N.Bohr, H.A.Kramers und J.C.Slater, Phil. Mag. 47, 785 (1924).

55. Photonenablenkung 56. Rückstoß 57. De Broglie

58. entarteter Zustand

(6) A.Einstein, Berliner Ber. 261 (1924); sowie 3 und 18 (1925).

59. Schrödinger 60. Eigenlösungen 67. Wellengleichung

62. formale Analogie 63. Hamilton 64. Superpositionsprinzip

65. individuelle Züge 66. Atomprozesse

در همین سال (۱۹۲۵) هایزنبرگ[۶۷]، مکانیك استدلالی‌یی[۶۸] را بنیان نهاد که کارهای مهم بُرن[۶۹]، جردن[۷۰]، ودیراك[۷۱] به سرعت به گسترش آن کمك کرد. در این نظریه نوعی صورتگرایی معرفی شده است که در آن، جای متغیرهای سینماتیك و دینامیك[۷۲] مکانیك کلاسیك را نمادهای دیگری می‌گیرد که از جبر جابجایی ناپذیری پیروی می‌کند. با وجود اعراض از مسئلهٔ مدارهای اتمی، معادلات کانونیك هامیلتون در مکانیك، تغییری نمی‌یابد و ثابت پلانك[۷۳] تنها در رابطهٔ جابجایی[۷۴]

$$qp - pq = \sqrt{-1}\,\frac{h}{2\pi}, \qquad (۲)$$

وارد می‌شود، که برای هر مجموعهٔ مزدوج از دو متغیر[۷۵] p و q صدق می‌کند. با نمایش نمادها به وسیلهٔ ماتریس‌هایی که عناصر آنها نمایندهٔ انتقال بین حالتهای ایستا است، برای اولین بار صورتبندی کمی[۷۶] اصل تناظر ممکن شد. لازم به یادآوری است که گام مهم در این راه را با وضع نظریه کوانتومی پراکندگی[۷۷]، به ویژه کرامر[۷۸]، برداشت که در آن، دستورهای اینشتین برای محاسبهٔ احتمال وقوع فرایندهای جذب و گسیل به طور اساسی به کار رفته بود.

اندکی بعد، شرودینگر ثابت کرد که این صورتگرایی مکانیك کوانتومی همان نتایجی را به دست می‌دهد که با روشهای نظریه موجی حاصل می‌شود و غالباً عبارات ریاضی ساده‌تری دارد. در سالهای بعد تدریجاً روشهایی کلی برای تشریح اساساً آماری فرایندهای اتمی ایجاد شد که توانست ویژگیهای فردیت را با آنچه که اصل برهمنهش ایجاب می‌کرد، و هر دو به یك اندازه مشخّصه نظریه کوانتومی است، بدون تضاد با یکدیگر پیوند دهد. در میان دستاوردهای این دوره به خصوص

67. Heisenberg 68. rationale Quantenmechanik
69. Born 70. Jordan 71. Dirac
72. kinematische und dynamische Variabeln 73. Plancksche Konstante
74. Vertauschungsrelation 75. konjugierte Variabeln
76. quantitative Formulierung 77. Dispersion 78. Kramer

باید اشاره کنیم که وضع صورتگرایی می‌تواند اصل طرد[79] را که در حالات سیستم‌های چند الکترونی حاکم است و قبل از پیدایش مکانیك کوانتومی، پاولی[80] آن را از تحلیل طیفهای اتمی[81] استنتاج کرده بود، در بر گیرد. اگر چه درك داده‌های تجربی فراوان جای تردیدی بر ثمر بخشی و کفایت صورتگرایی مکانیك کوانتومی باقی نگذاشت، اما خصلت مجرد این صورتگرایی، خود احساس نارضایتی همه‌جانبه‌ای را برانگیخت. برای روشن شدن این وضع لازم شد که مسئلهٔ مشاهده در فیزیك اتمی عمیقاً مورد بحث قرار گیرد.

چنان که می‌دانیم، این مرحله از تکامل فیزیك را هایزنبرگ در سال ۱۹۲۷ گشود(۷). او نشان داد که تحصیل معرفت دربارهٔ حالت یك سیستم اتمی همواره مستلزم «عدم قطعیت[82]» خاصی است. بدین طریق تعیین محل الکترون به کمك دستگاههای اندازه‌گیری، مثلا میکروسکپی که تابشهای با فرکانس زیاد را بکار گیرد، بنابر روابط بنیادی (۱) با مبادلهٔ یك تکان بین الکترون و وسیلهٔ اندازه‌گیری همراه است که هر قدر بزرگتر باشد، اندازه‌گیری محل الکترون دقیقتر انجام شده است. هایزنبرگ از مقایسهٔ این ملاحظات با انتظارات صورتگرایی مکانیك کوانتومی نشان داد که رابطهٔ جابجایی (۲) حدّ متقابلی را بر تعیین دو متغیر مزدوج p و q تحمیل می‌کند که با رابطهٔ

$$\Delta q \cdot \Delta p \approx h \qquad (۳)$$

بیان می‌شود و در آن، Δp و Δq عدم دقتی[83] است که در تعیین این متغیرها متناسباً مشخص شده است. با توجه به رابطهٔ نزدیك میان تشریح آماری مکانیك کوانتومی و امکانات واقعی اندازه‌گیری، رابطهٔ موسوم به عدم قطعیت ـــ همچنان که هایزنبرگ آن را نشان داد ـــ اهمیت زیادی در توضیح احکام متناقضی دارد که کوشش به تحلیل

79. Ausschliessungprinzip 80. Pauli 81. atomare Spektren

82. Unbestimmtheit

(7). W.Heisenberg, Zschr. F.Phys. 43, 172 (1927).

83. Unschärfe

اثرات کوانتومی به کمك تصورات فیزیکی معمول با خود به همراه می آورد.

این پیشرفتهای جدید فیزیك اتمی در کنگرهٔ بین المللی یی که در سپتامبر ۱۹۲۷ به یادبود ولتا[84] در کومو[85] برگزار گردید، از زوایای مختلف مورد بحث و تفسیر قرار گرفت. در سخنرانی یی که من در این کنگره ایراد کردم[(8)]، به دفاع از دیدگاهی پرداختم که آن را «مفهوم مکملی» می توان نامید. این مفهوم هم ویژگی های مشخصهٔ فردیت پدیده های کوانتومی را در بر می گیرد و هم جنبه های ویژه ای از مسئلهٔ مشاهده را در این زمینهٔ تجربی روشن می کند. با توجه بدین هدف قبول این نکته دارای اهمیت اساسی است که *هر قدر پدیده ها بتوانند از حوزهٔ توضیح فیزیکی کلاسیك فراتر رود، تشریح تمامی نتایج باید برحسب مفاهیم کلاسیك بیان گردد*. دلیل این مطلب ساده است. با واژهٔ «تجربه» همهٔ ما به موقعیتی اشاره می کنیم که دربارهٔ آن دیگران را آگاه می سازیم که چه یاد گرفته ایم و چه کار کرده ایم. در نتیجه، تشریح آرایش تجربی و نتایج مشاهده باید به زبانی بری از ابهام و با استفادهٔ مناسب از اصطلاحات فیزیك کلاسیك صورت گیرد.

این نکتهٔ مهم، که یکی از موضوعات اصلی مباحثاتی بود که ذیلا نقل می شود، *عدم امکان هرگونه تمایز دقیق بین رفتار اشیای اتمی و برهمکنش آنها با دستگاههای اندازه گیری را ایجاب می کند که به منظور تعیین شرایطی به کار می گیریم که در تحت آنها پدیده ها وقوع می یابند*. در حقیقت، فردیّت تأثیرات کوانتومی نوعی، تعبیر مناسب خود را در شرایطی پیدا می کند که در آن، هر تلاشی برای تقسیم یك پدیده به پدیده های جزئی تر نیازمند تغییر در شرایط آزمایش است به طوری که امکانات جدید برای برهمکنش بین اجسام و وسایل اندازه گیری اصولا غیرقابل کنترلی به وجود می آورد. بدین ترتیب، از نتایجی که در شرایط مختلف تجربی حاصل می شود، نمی توان تصویری واحد ارائه داد، بلکه باید آنها را، بدین معنی که کلیّت پدیده ها اطلاعات لازم در مورد اشیا را عمیقاً به دست می دهد، مکمل یکدیگر دانست.

84. Volta 85. Como

(8). Atti del Congresso Internazionale del Fisici, Como, Settembre 1F27 (abgedruckt auch in Nature 121, 78 und 580, 1928).

در این شرایط، نسبت دادن خواص فیزیکی معمول به اشیای اتمی با ابهامی اساسی توأم است. این ابهام در مورد خواص موجی وذرّه‌ای الکترون‌ها وفوتون‌ها ظاهر می شود. زیرا که در مورد الکترون‌ها و فوتون‌ها با تصاویر متعارضی سروکار داریم که هریك به نوبهٔ خود وجهی از تجربه را نمایان می سازد. نمونهٔ آموزندهٔ دیگری که به درستی نشان می‌دهد چگونه احکام باطلنما را با بررسی شرایط تجربی که تحت آنها پدیده‌های مکمّلی ظاهر می شود، می توان ازمیان برداشت، اثر کمپتون به دست می دهد. اثری که تشریح سازگار آن در بدو امر مشکلات جدیی به بار آورد. بنابراین اثر، هر آرایشی که متناسب به مطالعهٔ تبادل انرژی و تکان میان الکترون و فوتون باشد، باید در تشریح جای ـ گاهی[86] پدیده از آزادی عمل کافی برخوردار باشد، تا برای مشخص کردن بسامد و عدد موجی که در رابطهٔ (۱) وارد می شود کافی باشد. متقابلا، هرگونه کوششی به منظور تعیین دقیقتر محل برخورد میان فوتون والکترون ــ به دلیل برهمکنش اجتناب ناپذیر با ابزارهای اندازه گیری طول وزمان که چارچوب مرجع جای ــ گاهی[87] را تشکیل می دهد ــ تعیین دقیقتر توازن انرژی و تکان را غیرممکن می سازد.

چنان که در این صحبت اشاره شد، صورتگرایی مکانیك کوانتومی ابزار مناسبی برای روش تشریح مکمّلی است، زیرا که خود الگوی مطلقاً نمادینی است که در چارچوب اصل تناظر تنها پیشگویی هایی را دربارهٔ نتایجی ممکن می سازد که در تحت شرایطی که با مفاهیم کلاسیك تعیین می شود، می توان به دست آورد. لازم به یادآوری است که حتی در رابطهٔ «عدم قطعیت» (۳)، با استلزامی از صورتگرایی سروکارداریم که بیان روشن لغات را، که برای تشریح پدیده‌های فیزیکی کلاسیك مناسب است، غیرممکن می سازد. مثلا درجمله یی چون «ما نمی توانیم هم تکان و هم مکان یك شیء اتمی را به طور همزمان بشناسیم» بلافاصله سؤالاتی دربارهٔ واقعیّت فیزیکی این ویژگیهای کیفی[88] ساده مطرح می شود که تنها زمانی می تواند جوابی بیابد که ازطرفی به شرایط لازم بر استعمال روشن مفاهیم جای ـ گاهی، و ازطرف

86. raumzeitliche Beschreibung

87. raumzeitliches Bezugsystem

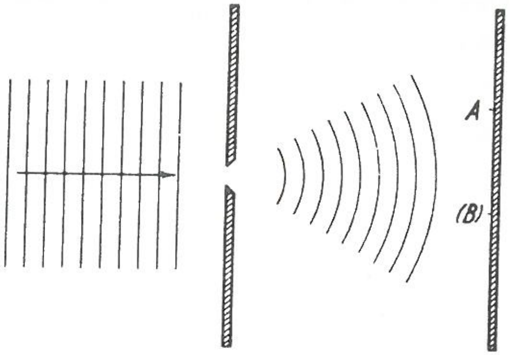
88. Attribute

دیگر به قوانین دینامیك بقاء[۸۹] رجوع کنیم، در حالی که ترکیب این مفاهیم در تصوّری واحد از زنجیره ای علّی[۹۰] از رویدادها، که جوهرهٔ مکانیك کلاسیك است، راه برای قانونمندیهایی[۹۱] باز می گذارد که تشریح علّی را نمی تواند در بر گیرد. واز این جا این واقعیّت حاصل می شود که مطالعهٔ پدیدهٔ مکملی نیازمند به ترتیب دادن آرایشهای تَجربی ای است که نافی یکدیگر است[۹۲].

لزوم تجدیدنظر در مبانی یی که در فیزیك اتمی استفادهٔ مجاز از مفاهیم مقدماتیِ فیزیکی باید بر آنها متکی باشد، از جهاتی یادآور موقعیتی است که اینشتین را بدواً به تجدیدنظر در اساس هر گونه کاربردی از مفاهیم جای ـ گاهی واداشت، که خود، با تکیه بر اهمیّت اساسی مسئلهٔ مشاهده، به تصور ما از جهان چنان وحدتی اعطاء کرد. هرچه بدعت این فکر باشد، نظریهٔ نسبیت تشریح علّی را در هر چارچوب مرجع محفوظ می دارد، در حالی که در نظریه کوانتومی برهمکنشِ مهارناشدنی بین اشیای اتمی و ابزارهای اندازه گیری ما را به اعراض از تشریح علّی وامی دارد. این امر به هیچ وجه محدودیتی بر دامنهٔ تشریح مکانیك کوانتومی اعمال نمی کند. در این جا قصدم این است که نشان دهم ــ همچنان که در صحبتم در «کوُمُو» همین دلایل را ارائه دادم ــ دیدگاه مکمّلی را باید چون تعمیمی منطقی[۹۳] از آرمان علّیت[۹۴] دانست.

در بحثهای عمومی که در «کوُمُو» صورت گرفت، جای اینشتین در میان ما خالی بود. اما اندکی بعد در اکتبر ۱۹۲۷، این فرصت را یافتم تا در پنجمین کنفرانس فیزیك انستیتوی «سولوای»[۹۵] در بروکسل، که به موضوع «الکترون و فوتون» اختصاص داده شده بود، با اوملاقات کنم. در کنفرانس های «سولوای» اینشتین از همان ابتدا از سر شناسترین چهره ها بود و شرکت بسیاری از ما در این کنفرانس بدین خاطر بود تا عکس العمل اینشتین را در مقابل پیشرفتهایی ببینیم که به گمان ما

89. dynamische Erhaltungsgesetze
90. Kausalkette
91. Gesetzmässigkeiten
92. sich gegenseitig ausschliessen
93. rationelle Verallgemeinerung
94. Kausalitätsideal
95. Solvay Institut



شکل ۱

در سالهای اخیر مسائلی را روشن ساخته بود که خود اینشتین در بدو امر تیزهوشانه مطرح کرده بود. در جریان این بحثها، این موضوع از طریق ذکر کارهای دیگری که در این گوشه و آن گوشه انجام گرفته بود، مورد بحث قرار گرفت و دلایلی هم که در بالا ارائه دادیم از نو بررسی شد. اینشتین نگرانی عمیق خود را از این که درمکانیك کوانتومی از تشریح علّی مکانی ـ زمانی فاصلهٔ بسیار گرفته‌ایم، ابراز داشت.

اینشتین در یکی از جلسات(۹) برای روشن کردن نظر خود مثال سادهٔ زیر را که در شکل (۱) نمایش داده شده است، ارائه داد. فرض کنیم که ذره‌ای (الکترون یا فوتون) از روزنه[۹۶] یا شکافی تنگ[۹۷] در پرده‌ای[۹۸] که به فاصله معینی در مقابل صفحهٔ عکاسی قرار داده‌ایم، عبور کند. پیش بینی قطعی این که الکترون در چه نقطه‌یی به صفحه برخورد خواهد کرد، به دلیل پراش[۹۹] موج، که خود در ارتباط با حرکت ذره است، و در شکل با خطوط باریك نشان داده شده، در چنین شرایطی امکان پذیر نیست. در این مورد، تنها می توان این احتمال را که الکترون در آزمایشی در قسمت مشخصی از صفحه باشد، حساب کرد. اِشکال ظاهری که در این تشریح

(9). Institut International de Physique Solvay, Rapport et Discussion du 5e Conseil, Paris (1928) 253ff.

96. Loch 97. enge Schlitz 98. Schirm 99. Beugung

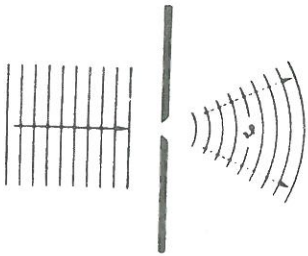
مطرح می شود، و اینشتین خود عمیقاً آن را حس کرده بود، این است که اگر در تجربه‌ای الکترون در نقطهٔ A به صفحه برخورد کند، اثر الکترون[100] در نقطهٔ دیگری بر روی صفحه همچون B برای همیشه منتفی خواهد بود، هر چند که در قوانین معمول انتشار امواج[101] جایی برای رابطه‌ای بین این دو رویداد وجود ندارد.

نظر اینشتین بحثهای آتشینی را در میان جمع کوچکی برافروخت که در آن ارنفست[102] هم، که با هریك از ما سابقهٔ دوستی دیرینه داشت، فعالانه و سودمندانه شرکت داشت. بدیهی است که همگی ما بر این نکته متفق القول بودیم که مثال بالا هیچ وجه تشابهی با کاربرد آماری در مطالعهٔ سیستم های مکانیکی پیچیده ندارد. مورد بالا بیشتر یادآور اصولی بود که اینشتین خود پیشتر در مورد خصلت تك جهتی اثرات منفرد تابش ــ که در تضاد روشن با تصور موجی ساده بود ــ استنتاج کرده بود (به صفحهٔ ۶۶ نگاه کنید). بحثها نتیجتاً بر این مسئله متمرکز بود که آیا شیوهٔ تشریح در مکانیك کوانتومی، چنین پدیده های قابل مشاهده یی را می تواند توضیح دهد، یا این که همچنان که اینشتین مدّعی بود، تحلیل را می توان فراتر برد به خصوص این که آیا تشریح کاملتر این پدیده‌ها، با ملاحظهٔ ترازنامهٔ[103] دقیق انرژی و تکان در فرایندهای منفرد قابل دست یابی است یا نه.

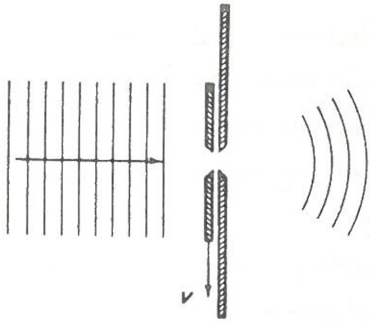
برای آن که تسلسل دلایل اینشتین را بتوانیم روشن کنیم، چند خصوصیّت سادهٔ ترازنامهٔ انرژی و تکان را در رابطه با محل ذرّه در زمان و مکان مورد توجه قرار می‌دهیم. بدین منظور، مورد ذره‌ای را بررسی می کنیم که از منفذی بر روی یك دیافراگم[104] عبور می کند که یا همیشه باز است شکل ۲ (الف) ویا کشویی[105] آن را باز و بسته می کند شکل ۲ (ب). خطوط موازی[106] متساوی الفاصله[107] در سمت چپ دو شکل ۲ (الف) و ۲ (ب) مسیر عبور یك دسته موج مسطح است. این مسیر وضعیت حرکت ذره‌ای را نشان می دهد که قبل از رسیدن به دیافراگم دارای تکان p است و رابطهٔ آن با تعداد امواج، σ ، از دوّمین معادلهٔ روابط (۱) به دست می آید.

100. Effekt des Elektrons 101. Wellenfortplanzung 102. Ehrenfest
103. Bilanz 104. Blende 105. Schieber 106. Parallel Linien
107. äquidistante Linien

وضع حرکتی ذرّه در سمت راست صفحه، به دلیل پراش امواج به هنگام عبور[۱۰۸] از منفذ با یك دسته موج کروی[۱۰۹] با دهانه ϑ[۱۱۰]، و در مورد شکل ۲ (ب) با دسته موجهایی با گسترش شعاعی محدود[۱۱۱] نشان داده است. تشریح این وضع از طرفی آزادی عمل Δp، مولفهٔ[۱۱۲] موازی با دیافراگم برای تکان ذره، و از طرف دیگر در مورد دیافراگم کشودار آزادی عمل ΔE، یعنی انرژی جنبشی را نیز در بر دارد.



شکل ۲ (الف)



شکل ۲ (ب)

از آن جا که عدم دقت Δq در تعیین محل ذره در صفحهٔ دیافراگم در شعاع aیِ منفذ مفروض است و چون $\vartheta \approx 1/\sigma a$ است، با استفاده از (۱) نتیجه می شود که $\Delta p \approx \vartheta p \approx h/\Delta q$ رابطه‌ای که خود با رابطهٔ عدم قطعیت (۳) مطابقت می کند. بدیهی است که این نتیجه را می توان به دلیل گسترش محدود میدان موج[۱۱۳] در سطح شکاف، با توجه به این که مولفهٔ عدد موج موازی با سطح صفحه، دارای آزادی عمل $\Delta\sigma \approx 1/a \approx 1/\Delta q$ است، نیز به دست آورد. همچنین گستره[۱۱۴] توزیع بسامدهای[۱۱۵] مؤلفه‌های هماهنگ[۱۱۶] در دسته موج محدود شکل ۲ (ب)،

108. Durchgang 109. sphärischer Wellenzug 110. Öffnungswinkel
111. begrenzte radiale Ausbereitung 112. Komponent
113. Wellenfeld 114. Breite 115. Frequenzverteilung
116. harmonische Komponente

ΔT / ۱ ≈ ΔV است. در این رابطه ΔT فاصلهٔ زمانی بازماندن کشو و نتیجتاً آزادی عمل زمانی ذره در لحظهٔ عبور از منفذ است. از رابطهٔ (۱) نتیجه می شود:

$$\Delta E \cdot \Delta t \approx h, \qquad (۴)$$

رابطه‌ای که میان دو متغیر مزدوج E و t وجود دارد با رابطهٔ (۳) مطابقت دارد.

از دیدگاه قوانین بقا می توان منشاء این عدم قطعیّت در تشریح وضع ذره پس از عبور از منفذ را به امکان مبادلهٔ انرژی و تکان ذره با دیافراگم یا کشو مربوط ساخت. در دو وضع شکلهای ۲ (الف) و ۲ (ب) می توان از سرعت دیافراگم صرف نظر کرد و تنها تبادل تکان میان ذره و دیافراگم را در محاسبات وارد کرد. کشو که منفذ را در زمان Δt باز نگاه می دارد، با سرعت قابل ملاحظهٔ $v \approx a/\Delta t$ حرکت می کند و نتیجتاً انتقال تکان Δp، تبادل انرژی

$$v\,\Delta p \approx \frac{\Delta q\,\Delta p}{\Delta t} \approx \frac{h}{\Delta t}$$

را با ذره موجب می شود که همچون آزادی عمل ΔE در رابطهٔ (۴) از همان مرتبهٔ بزرگی[۱۱۷] است و شرایط بقای تکان و انرژی را واجد است.

اینشتین این مسئله را مطرح کرد که تا چه حد کنترل انتقال تکان و انرژی، که در تعیین محل ذره در فضا و زمان وارد می شود، می تواند وضع ذره را پس از عبور از شکاف مشخص کند. باید در نظر داشته باشیم که تاکنون فرض بر این بوده است که محل و حرکت دیافراگم و کشو با دستگاه مرجع مکانی ـ زمانی دقیقاً هماهنگ بوده است. نتیجهٔ این فرض، نیاز به آزادی عملی در مورد تکان و انرژی را ایجاب می کند که برای تشریح وضعیت این اجسام ضروری است. البته در صورتی که دیافراگم و کشو به قدر کافی سنگین باشد، لازم نیست که تکان بر سرعت آنها تأثیر محسوسی داشته باشد. امّا همین که بخواهیم انرژی و تکان قطعات این دستگاه اندازه گیری را با دقتی بشناسیم که برای مهار تبادل تکان و انرژی ذرهٔ مورد مطالعه کافی باشد، بنابر روابط کلّی عدم قطعیت، امکان تعیین محل دقیق آنها را در مکان و زمان از دست خواهیم داد. نتیجتاً باید بررسی کنیم که این وضع تا چه حد بر نوعِ استفادهٔ ما از این

117. Grössenordnung

دستگاه اثر می گذارد. به زودی خواهیم دید که همین نکتهٔ مهم است که خصلت مکملی پدیده‌ها را به روشنی افشا می کند.

لحظه‌ای چند به دستگاه سادهٔ شکل (۱) بازمی گردیم که هنوز استفاده‌ای را که از آن منظور داریم بیان نکرده‌ایم. حقیقت این است که تنها به خاطرِ این فرض که محل دیافراگم و صفحه به دقت در مکان تعیین شده باشند، این امکان وجود ندارد تا در چارچوب صورتگرائی مکانیك کوانتومی بتوانیم نقطه‌ای را که ذره با صفحهٔ عکاسی برخورد می کند به دقت پیش بینی کنیم. با وجود این، اگر آزادی عمل نسبتاً بزرگی را در تعیین محل دیافراگم بپذیریم، اصولا باید امکان مهار تکانی که بدان انتقال یافته است نیز ممکن باشد، و بدین ترتیب بتوان پیش بینیهای دقیقتری را دربارهٔ مسیری که الکترون از شکاف تا محل برخوردش با صفحه طی می کند انجام داد. در این جا از نظر تشریح مکانیك کوانتومی با نظامی مرکب ازدو جسم سروکار داریم: ذره و دیافراگم. در اثر کمپتون هم دقیقاً سروکارما با اعمال مستقیم قوانین بقا به نظامی این چنین است که در آن مثلا با استفاده ازمشاهدهٔ عقب نشینی الکترون در اتاقك ابر[118]، این امکان را، که فوتون پخش شده سرانجام در چه جهت قابل مشاهده است، به دست می آوریم.

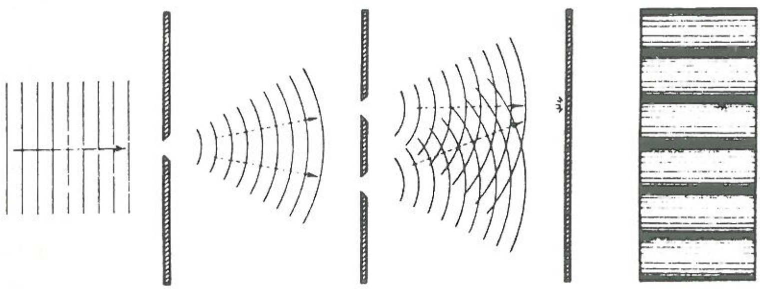
اهمیت چنین نکاتی زمانی روشن شد که آزمایش با دستگاه دیگری انجام یافته بود که در آن، دیافراگمی با دو شکاف موازی در آن بین صفحهٔ عکاسی و دیافراگم شیاردار قرارداده شده بود. وقتی که یك دستهٔ موازی الکترون (یا فوتون)، ازسمت چپ دیافراگم اول انتشار می یابد، در شرایط معمول اشکال ناشی از تداخل را بر روی صفحهٔ عکاسی می توان دید که در سمت راست شکل نمای روبرویِ آن با خطوط سایه روشن نشان داده شده است. برای تابشهای شدید[119] این شکل ناشی از تراکم تعداد زیادی ازفرایندهای منفرد است که هر یك نقطهٔ سیاهی بر روی صفحه ایجاد می کند و توزیع این نقاط از قانون ساده‌ای پیروی می کند که از تحلیل موجی قابل استنتاج است. همین توزیع را می توان با آمارگیری از آزمایشهای فراوان انجام شده به دست آورد که در آنها شدت دسته‌های الکترون آنقدر کم است که درهر

118. Nebelkammer 119. intensive Strahlung

بار باز و بسته شدن کشو یك الکترون یا فوتون به صفحهٔ عکاسی می رسد که نقطهٔ برخورد آن با صفحه در شکل با ستارهٔ کوچکی نشان داده شده است. چنان که پیکانهای نقطه‌چین نشان می دهد، تکانی که به دیافراگم اول انتقال می یابد، بسته به این فرض که الکترون از کدام شکاف صفحه دوم عبور کند، تفاوت دارد. به همین سبب اینشتین بر این نظر بود که با مهار انتقال تکان شاید بتوان تحلیل دقیقتر پدیده را به دست داد و به خصوص این امکان ارائه می شود تا بتوان تصمیم گرفت که الکترون، پیش از رسیدن به صفحه، از کدام یك از دو منفذ عبور می کند.

بررسیهای دقیقتر نشان دادکه مهار انتقال تکان مورد نظر اینشتین، عدم دقتی در مورد محل دیافراگم با خود به همراه می آورد که مانع از پیدایش پدیدهٔ تداخل مورد سؤال می شود. اگر w زاویهٔ کوچك میان مسیرهای فرضی ذره‌ای باشد که از شیار بالایی یا پایینی عبور می کند، اختلاف تکان‌های انتقال یافته در این دو حالت بنا بر رابطهٔ (۱) برابر با $h\sigma w$

خواهد بود، وهر گونه تلاشی برای مهار تکان دیافراگم، با دقتی کافی در اندازه گیری این اختلاف، باید بنابر رابطهٔ عدم قطعیت با عدم دقتی حداقل معادل $1/\sigma w$ در مورد محل دیافراگم همراه باشد. اگر دیافراگم دوشیاره به فاصله مساوی از دیافراگم اول و صفحهٔ عکاسی قرار گرفته باشد، شکل ۳، می توان دید که تعداد فرانژها[120] در



شکل ۳

واحد طول مساوی با σw خواهد بود. اما از آن جا که عدم دقتی به مقدار $1/\sigma w$ در

120. Fransen

مورد موقعیت دیافراگم اول، باعث به وجود آمدن عدم دقتی به همان مقدار در مورد موقعیت فرانژها می شود، نتیجتاً هرگونه اثر تداخلی محو خواهد شد. همین نتایج را می توان با تغییر محل دیافراگم دوم، میان دیافراگم اول و صفحهٔ عکاسی به دست آورد. نتایج باز هم یکسان خواهد بود، اگر به جای دیافراگم اول یکی از سه جسم فوق الذکر را به منظور مهار انتقال تکان در این مورد به کار گیریم.

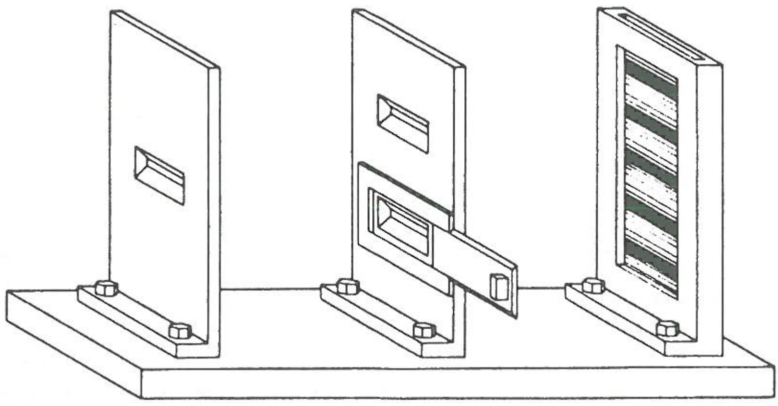
این نکته پیامد منطقی زیادی دارد، زیرا که تنها در این وضع، که در مقابل انتخاب *میان* تعقیب مسیر ذره *و یا* مشاهدهٔ اثرات ناشی از تداخل قرار گرفته ایم، این امکان را می یابیم تا از نتایج باطلنما بگریزیم، که بنابر آنها رفتار الکترون یا فوتون بستگی به وجود شیاری در دیافراگم دارد که عدم عبور آن الکترون یا فوتون را از راه آن شیار می توان اثبات کرد. در این جا با نمونهٔ بارزی سروکار داریم که در آن پدیده های مکملی در شرایط تجربی مانعة الجمع با یکدیگر پدیدار می شود (به صفحه ۷۳ نگاه کنید). همین مورد نمونه‌ای بر این است که تحلیل اثرات کوانتومی در تعیینِ حد فاصل روشن میان رفتار مستقل اشیای اتمی و برهمکنش آنها با دستگاههای اندازه گیری، که از آنها برای تعیین شرایطی که تحت آنها پدیده رخ می دهد بهره می گیریم، غیرممکن است.

بحثهای ما بر سر موضعگیری در مقابل وجود وضعیتی کاملا جدید در تجزیه و تحلیل این تجارب، طبیعتاً با اندیشه‌های فلسفی هم از جوانب مختلف تماس پیدا می کرد؛ اما با وجود اختلاف آرا و عقاید، همگی بحثها مزیّن به روح شوخی و بذله گویی بود. اینشتین به نوبهٔ خود با مسخره ازما سؤال کرد که آیا حقیقتاً می توان باور داشت که قدرتهای الهی به بازی با تاس پناه برده باشند (... «آیا خدا تاس می اندازد» [۱۲۱])؟ در جواب این سؤال چنین پاسخ دادم که باید در نسبت دادن صفات متداول در زبان روزانه به مشیت الهی بسیار محتاط بود، همچنان که متفکرین گذشتهٔ ما نیز چنین توصیه کرده اند. به خاطر دارم که «ارنفست» در اوج بحث با شیوهٔ دوست داشتنی خود در شوخی با دوستانش، تشابه ظاهری میان نظر اینشتین و مخالفین نظریهٔ نسبیت را یادآور شد، اما همان جا این را هم افزود که آرامش روحی را تنها

121. ob der liebe Gott würfelt

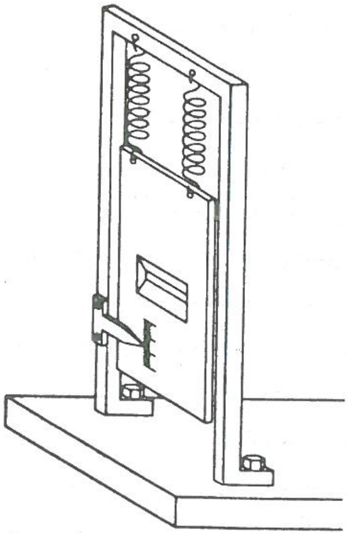
وقتی می‌تواند بیابد که با نظر اینشتین به توافق رسیده باشد.

تأملات و انتقادات اینشتین این انگیزه را در ما برانگیخت که وجوه مختلف وضعیتی را که در تشریح پدیده‌های اتمی به وجود آمده بود، از نو بررسی کنیم. برای من فرصتی میمون بود تا به نقش دستگاههای اندازه‌گیری بیشتر اشاره کنم و برای آن که تباین در خصلت شرایط تجربی را که در آنها پدیده‌های مکملی به وقوع می‌پیوندد، حتی‌الامکان به روشنی نشان دهم، کوشش کردم طرحی به شیوهٔ غیر واقع از دستگاههای مختلف ارائه دهم که چند نمونه از آنها را در صفحات ذکر خواهم کرد. به منظور مطالعهٔ پدیدهٔ تداخل به گونه‌ای که در شکل ۳ از آن یاد کردیم، طرح آزمایشی را، که در شکل ۴ نشان داده شده، در نظر گرفتم. در این شکل، قطعاتی که دیافراگم‌ها و صفحهٔ عکاسی را نگاه می‌دارد، همگی بر روی پایهٔ مشترکی محکم پیچ شده است. در چنین دستگاهی، که در آن محل نسبی قرار گرفتن دیافراگم و صفحهٔ عکاسی با یك اتصال مطمئن محکم شده است، روشن است که مهار تکان مبادله شده بین ذرّه و قطعات مجزای دستگاه ممکن نیست. تنها راه، برای این که اطمینان بیابیم که ذره از یکی دو شکاف دیافراگم دوم عبور کرده این است که یکی از آن دو را با کشویی ــ همچنان که در شکل نشان داده شد ــ مسدود کنیم. طبیعی است در صورتی که شکاف بسته باشد، دیگر اثری از تداخل نمی‌تواند در میان باشد و تنها بر روی صفحه توزیعی پیوسته مانند مورد با یك دیافراگم در شکل ۱ را می‌توان دید.



شکل ۴

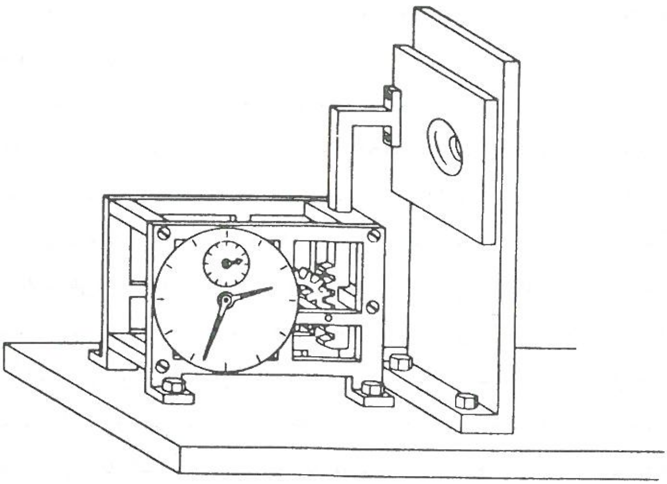
در مطالعهٔ پدیده‌هایی که در آنها با ترازنامهٔ دقیق تکان سر و کار داریم، واضح است که برخی از قطعات دستگاه، باید بتواند مستقل از دیگر قطعات آزادانه حرکت کند. در شکل ۵ چنین دستگاهی نشان داده شده است که در آن، یك دیافراگم شیاردار از طریق فنرهای ظریفی به چارچوب ثابتی آویزان شده که خود به پایه‌ای پیچ شده است و دیگر قطعات غیر متحرك نیز به آن متصل شده است. به کمك خط کشی که بر



شکل ۵

روی دیافراگم نصب شده و عقربه‌ای که متصل به یکی از پایه‌های چارچوب است می‌توان حرکت دیافراگم را مشاهده کرد؛ امری که در اندازه‌گیری تکان دریافتی دیافراگم ضروری است. با این اندازه‌گیری می‌توان میزان پراشی را که ذره به‌هنگام عبور از شیار متحمل می‌شود استنتاج کرد. اما از آن جایی که خواندن درجه‌بندی خط کش نصب شده روی دیافراگم ــ به هر شیوه‌ای که باشد ــ تغییر غیرقابل کنترلی در تکان دیافراگم را موجب می‌شود، بنابر اصل عدم قطعیت همواره رابطهٔ متقابلی میان شناخت ما از محل شیار و دقت در کنترل تکان وجود خواهد داشت.
شکل ۶ به شیوه‌ای نیمه‌جدی قسمتی از یك آرایش تجربی را نشان می‌دهد که

برخلاف پدیده‌هایی که تاکنون مورد بحث بوده است، مختصات زمانی[122] در آنها مستقیماً ملحوظ است. این آرایش تجربی مشتمل است بر یک کشو، که به طور محکمی به یک ساعت متصل شده است. این دو و یک دیافراگم روی پایه‌ای قرار گرفته است که قطعات دیگری با همین مشخصات باید روی آن قرار گیرد. این قطعات می‌تواند با همین ساعت تنظیم شود یا با ساعت دیگری که با ساعت اولی تنظیم باشد. هدف اصلی از این شکل یادآوری این واقعیت است که ساعت دستگاهی مکانیکی است که طرز کارش را می‌توان به کمک علم مکانیک موجود کاملا تشریح کرد و مطمئن بود که نه خواندن محل عقربه‌ها بر آن تأثیر دارد و نه برهمکنش میان قطعات آن با ذرهٔ اتمی. از آن جا که چنین دستگاهی می‌تواند باز شدن منفذ را در یک لحظهٔ معین ممکن سازد، از آن می‌توان مثلا در اندازه‌گیری زمانی که یک الکترون یا فوتون احتیاج دارد تا از دیافراگم به نقطهٔ دیگری برود، استفاده کرد. بدیهی است که این دستگاه امکان اندازه‌گیری انرژی انتقال یافته به کشو را، به منظور استخراج نتایج مربوط به انرژی ذره‌ای که از دیافراگم عبور کرده است، به دست نمی‌دهد. در صورتی که به این نتایج علاقمند باشیم، روشن است که باید آرایش تجربی‌یی به کار گیریم که در آن کشوها دیگر به جای ساعت دقیق به کار



شکل ۶

122. Zeitzuordnung

نمی رود، بلکه در آن، شناخت لحظهٔ باز شدن منفذ، آزادی عمل را تأمین می کند که با دقت در اندازه گیری انرژی با استفاده از رابطهٔ کلی (۴) مرتبط است.

ملاحظهٔ دستگاههایی که ساخت آنها در عمل کم و بیش ممکن و استفاده از آنها نیز خیالی است، از آن جا که توجه ما را به ویژگی اساسی مسائل معطوف می سازد برایمان بسیار ثمر بخش بود. نکتهٔ اساسی در این جا تمایز میان *اشیای* مورد تحقیق و *دستگاههای اندازه گیری* یی است که براساس مفاهیم فیزیك کلاسیك شرایطی را تعیین می کند که تحت آنها پدیده وقوع می یابد. در این جا این را هم یادآوری می کنیم که دشواری و یا حتی عدم امکان اجرای آزمایشهایی که اندازه گیری دقیق انتقال تکان و یا انرژی از ذراتِ اتمی به اجسام سنگین، همچون کشو یا دیافراگم را، در بر دارد، به هیچ وجه بر وضوح تفکرات پیشین اثری ندارد. آن چه که اهمیت دارد این است که در این موارد، بر خلاف دستگاههای اندازه گیری معمول، این اجسام با ذرات اتمی نظامی را می سازد که بدان صورتگرایی مکانیك کوانتومی را باید اعمال نمود. به علاوه، برای مشخص کردن شرایطی که در آن این صورتگرایی قابل اعمال است، لازم است که *کل آرایش تجربی* مورد توجه قرار گیرد. وارد کردن قطعات جدید در این آرایش تجربی، مثل قرار دادن یك آینه در مسیر ذره، فی الواقع اثرات تداخلی جدیدی را موجب می شود که به پیش بینی های ما در مورد نتایج نهایی به طرز محسوسی تاثیر می گذارد.

مثال زیر که اینشتین خود به موقع توجه ما را بدان جلب کرد و کراراً بدان اشاره می کرد، به بهترین وجهی نشان داد که عدم امکان تقسیم به جزء پدیده های اتمی تا چه حد چشم پوشی از تجسم پدیده های اتمی را به ما تحمیل می کند. اگر یك آینه نیمه باز تابان را در مسیر فوتون قرار دهیم و بدین ترتیب بدان فقط امکان انتشار در دو جهت را بدهیم، فوتون را می توان تنها و تنها بر روی یکی از دو صفحهٔ عکاسی، که در فاصلهٔ زیاد از یکدیگر و در دو جهت مورد بحث قرار دارد، ثبت کرد. اما با تعویض صفحه ها با آینه، می توان اثراتی را مشاهده کرد که پدیدهٔ تداخل میان دو دستهٔ موج منعکس شده را به روشنی نشان می دهد. پس نتیجه می شود که برای نشان دادن واضح رفتار فوتون با اشکالاتی مواجه خواهیم شد؛ مثلا مجبوریم بگوییم که فوتون از طرفی همواره یکی از دو راه را انتخاب می کند، و از طرف دیگر، فوتون رفتارش آن چنان است که گویی هر دو *راه* را پیموده است.

دلایلی از این نوع است که به درستی عدم امکان تقسیم به جزء پدیده‌های کوانتومی و ابهام در نسبت دادن خواص فیزیکی معمول به اشیای اتمی را نشان می‌دهد. به خصوص باید توجه داشت که در کنار تشریح جایگاهی و محل قرار گرفتن ابزارهایی که وسیلهٔ تجربی را تشکیل می‌دهد، هرگونه استعمال مفاهیم زمانی ـ مکانی در تشریح پدیده‌های اتمی، به ثبت مشاهدات مربوط به علایم روی صفحهٔ عکاسی و یا ثبت اثرات مشابه تشدید یافته و عملاً غیرقابل بازگشت[123]، مانند تشکیل قطرهٔ آب بر روی یك یون در اتاقك ابر محدود می‌شود. اما علی‌رغم این که طبیعتاً، وجود کوانتوم کنش عهده‌دار خواص مصالحی است که با آنها دستگاههای اندازه‌گیری ساخته شده است و طرز کار دستگاههای ثبت بدانها بستگی دارد، چنین وضعی در این سؤال، که آیا تشریح، به کمك مکانیك کوانتومی مناسب یا کامل است در بحث ما هیچ گونه نقشی ندارد.

این مسائل در کنفرانس سولوای[(۱۰)] در جلسه‌ای که اینشتین انتقادات کلی خود را نیز مطرح ساخت، از جهات مختلف با موفقیت مورد بحث قرار گرفت. در همین فرصت بحث جالب دیگری در این باره مطرح شد که چگونه باید دربارهٔ انواع پدیده‌هایی صحبت کرد که تنها از نظر آماری قابل پیش بینی است. موضوع این بود که ببینیم آیا به هنگام بروز اثرات منفرد باید اصطلاحات پیشنهادی دیراك را به کار گرفت، که بنابر آنها ما انتخابی از جانب «طبیعت» سروکار داریم، یا، همچنان که هایزنبرگ پیشنهاد می‌کند، انتخاب «ناظر[124]» که خود دستگاههای اندازه‌گیری را می‌سازد و نتایج ثبت شده را می‌خواند، باید مورد قبول واقع گردد. هر یك از این دو اصطلاح مورد تردید است، زیرا که از طرفی نسبت دادن اراده[125]، به مفهومِ معمولِ آن، به طبیعت غیرمعقول است و از طرف دیگر ناظر نمی‌تواند هیچ گونه تأثیری بر روی وقایعی بگذارد که در شرایطی که او تمهید نموده، وقوع می‌یابد. من شخصاً تصور می‌کنم که فقط یك راه‌حل وجود دارد: باید پذیرفت که در این حوزه تجربی با پدیده‌های منفرد سروکار داریم و امکانات ما در نحوهٔ استفاده از ابزارهای اندازه‌گیری به ما این اختیار[126] را می‌دهد تا میان پدیده‌های مکمل منفرد و مورد

123. irreversible

(۱۰) همان مرجع، صفحات ۲۴۸ و بعد.

124. Beobachter 125. Wille 126. Wahl

مطالعه فقط یکی را انتخاب کنیم.

در مقاله‌ای که من در یکی از شماره‌های مجلهٔ «علوم طبیعی[۱۲۷]» به مناسبت هفتادمین سالگرد تولد پلانك در سال ۱۹۲۹ نوشتم، مسائل معرفتشناختی که در بالا به آنها اشاره کردیم، مفصلا مورد بحث قرار گرفت. این مقاله مقایسه‌ای را هم در برداشت؛ مقایسه‌ای بین نتایج حاصله از اکتشاف کوانتوم عام کنش و پیشرفتهایی که کشف سرعت محدود نور توسط اینشتین اصول بنیادی تشریح طبیعت را عمیقاً روشن کرده بود. نظریهٔ نسبیت با تأکید بر این که تمامی پدیده‌ها بر یك نظام مرجع وابسته است، راه دستیابی به قوانین فیزیکی را که از شمول و کلیت بی سابقه‌ای برخوردار است باز کرد. من چنین استدلال می کردم که در نظریهٔ کوانتومی فهم منطقی قوانین اساسی تاکنون نامکشوف حاکم بر پدیده‌های اتمی، بدین شناخت منتهی خواهد شد که تمیز روشن میان رفتار مستقل اشیا و برهمکنش آنها با دستگاههای اندازه‌گیری که به عنوان نظام مرجع تعیین شده، غیرممکن است.

بدین ترتیب مکانیك کوانتومی ما را در مقابل موقعیتی کاملا جدید در دانش فیزیك قرار می دهد. من بدین نکته نیز اشاره کردم که مشابهتی بسیار نزدیك میان این موقعیت و موقعیتی که به تحلیل و ترکیب تجارب مرتبط است وجود دارد که در حوزه‌های دیگر شناخت بشری نیز به چشم می خورد. چنان که می دانیم بسیاری از اشکالات موجود در روانشناسی ناشی از این واقعیت است که به هنگام تحلیل وجوه مختلف تجارب فکری، حدفاصل[۱۲۸] میان عین[۱۲۹] وذهن[۱۳۰] را می توان به طرق مختلف تعیین کرد. واژه‌هایی چون «فکر[۱۳۱]» و«احساس[۱۳۲]» را، که در واقع برای تشریح محدوده و غنای زندگی آگاه[۱۳۳] ضروری است، مانند مختصات مکانی ـ زمانی[۱۳۴] و قوانین دینامیك بقا در فیزیك اتمی، به معنی مفاهیمی مکمل یکدیگر به کار می گیریم. تشریح دقیق این مشابهتها مسلماً با اشکالات لغوی همراه خواهد بود. مؤلف نظر خود را شاید به بهترین وجهی در قسمتی از مقالهٔ

127. Naturwissenschaften 128. Trennungslinie 129. Objekt
130. Subjekt 131. Gedanke 132. Gefühl
133. Bewusstesleben 134. raumzeitliche Koordination

فوق الذکر بیان کرده باشد. در این مقاله مؤلف توجه را به این نکته جلب کرده است که میان سعی به تعریف دقیق یك واژه از طرفی، و معنی دقیق آن در عمل از طرف دیگر، تباینی موجود است. هدف اصلی این ملاحظات ـــ که امید بر تأثیر بر نظر اینشتین آنها را نپرورانده بود ـــ این بود تا توجه خود را بر این امکان معطوف کنیم که برخی از مسائل معرفتشناختی کلی را می توان با توجه به تعلیمات مأخوذ از مطالعهٔ واقعیّات جدید تجربهٔ فیزیکی روشن کرد، هر چند در اصل ساده باشد.

در ملاقاتی که در سال ۱۹۳۰ در کنگره سولوای با اینشتین داشتم، بحثهای ما بسیار جدی شد. در اعتراض بدین نظر که هرگونه کنترلی بر تبادل تکان و انرژی میان اشیا و ابزارهای اندازه‌گیری، تا زمانی که این ابزارها مرجع مکانی ـ زمانی پدیده‌ها را تعیین می کند، منتفی است، اینشتین در مقابل این دلیل را ارائه داد که چنین کنترلی، در صورتی که خواستهای نظریه نسبیت را مورد توجه قرار دهیم، ممکن خواهد بود. به خصوص، رابطهٔ کلی میان انرژی و جرم در فرمول معروف

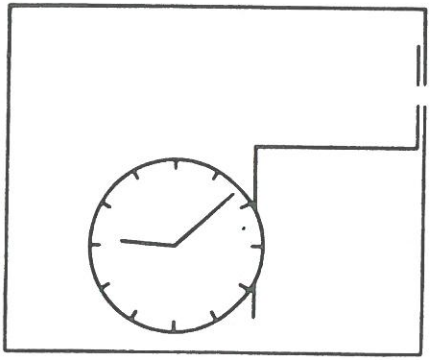
$$E = mc^2 \qquad (۵)$$

امکان اندازه‌گیری انرژی کلی هرگونه سیستمی را به کمك توزینی ساده به دست می‌دهد و بدین ترتیب می توان اصولا انرژی انتقال یافتهٔ دستگاه اندازه‌گیری را در صورتی که بین دستگاه و شیء اتمی برهمکنش موجود باشد، اندازه گرفت.

بدین منظور، اینشتین دستگاهی مناسب پیشنهاد کرد که در شکل ۷ نشان داده شده است. این دستگاه جعبه‌ای است که در یك طرف آن سوراخی تعبیه شده است که می توان به کمك کشویی آن را باز و بسته کرد؛ خود کشو را ساعتی که در درون جعبه نصب شده است به حرکت درمی آورد. فرض کنیم در شروع کار، جعبه مقداری تابش دارد، و ساعت به گونه‌ای تنظیم شده است که کشو را در زمان مشخصی برای لحظه‌ای باز نگاه می‌دارد. با این کار می توان تعیین کرد که تنها یك فوتون در یك لحظه از سوراخ عبور کرده است که این لحظه را می توان با هر دقت دلخواه تعیین کرد. به علاوه، مسلماً این امکان وجود دارد تا جعبه را قبل و بعد از عبور فوتون از سوراخ وزن کرد و وزن انرژی یا فوتون را با دقت دلخواه تعیین کرد؛ امری که با عدم قطعیّت متقابل کمیّتهای زمان و انرژی در مکانیك کوانتومی تناقض آشکار دارد.

ارائه این دلیل خود نوعی دعوت جدی به مبارزه بود و بررسی عمیق تمامی

مسئله را موجب می گشت. در پایان بحث، که اینشتین خود فعالانه در آن شرکت داشت، روشن شد که این دلیل را نمی توان پذیرفت. توجه به این مسئله بررسی دقیقتر نتایج معادل‌دانستن‌جرم گرانشی[۱۳۵] وماندی[۱۳۶] را در فرمول (۵) ضروری ساخت. به خصوص لازم شدرابطهٔ بین آهنگ حرکت ساعت وموقعیت آن درمیدان



شکل ۷

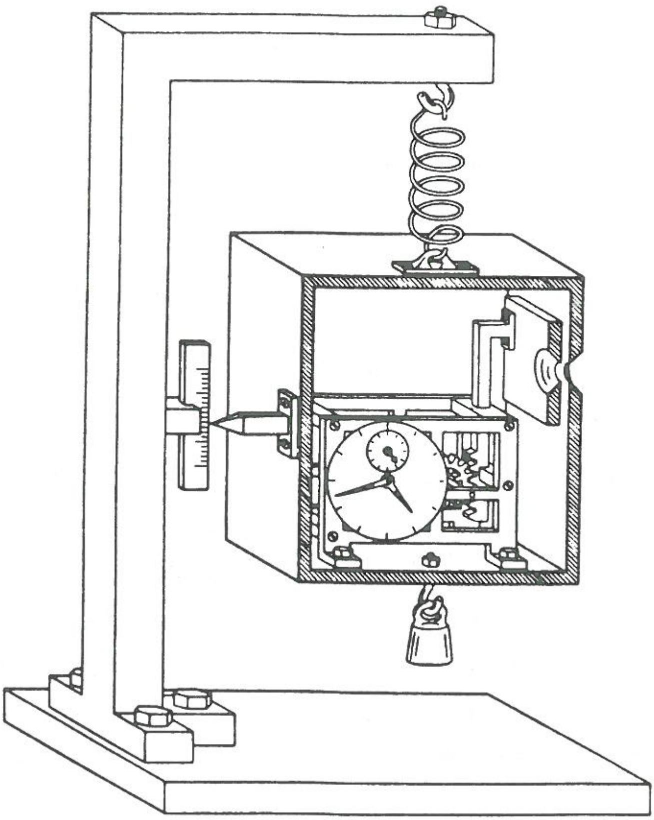
جاذبه مورد توجه قرار گیرد. این رابطه را از تغییر مکان به سمت قرمز خطوط طیف خورشیدی به خوبی می شناسیم و می‌دانیم که خود نتیجه‌ای از اصل هم ارزی اینشتین[۱۳۷] میان اثرات گرانشی[۱۳۸] و پدیده‌های مورد مشاهده در دستگاههای مرجع شتابدار[۱۳۹] است.

بحثهای ما بر کاربرد ممکن دستگاهی متمرکز شد که در آن، دستگاه پیشنهادی اینشتین هم نصب شده بود ودر شکل ۸ به همان شیوهٔ شبه‌واقعی، همچون شکلهای قبلی، نشان داده شده است. این جعبه که قسمت داخلی آن نشان داده‌شده، به یك ترازوی فنری آویزان شده است. خود جعبه مجهز به عقربه‌ای است که محل جعبه را بر روی خط کشی، که به پایهٔ ترازو نصب شده، تعیین می کند. بدین ترتیب وزن

135. Gravitationsmasse 136. Trägheitsmasse
137. Einsteins Prinzip der Äquivalenz 138. Schwerkraftwirkung
139. beschleunigtes Bezugsystem

جعبه را می توان با آوردن عقر به بر روی صفر از طریق افزودن وزنه با دقت دلخواه تعیین کرد. و امّا نکتهٔ اساسی در این جا این است که تعیین محل جعبه با دقت داده شدهٔ q△ در اندازه گیری تکان جعبه، عدم قطعیت مینیمم p△ را در خود دارد که به q△ از طریق رابطهٔ (۳) مر بوط می شود. این عدم قطعیت باید مسلماً کوچکتر از ضر به‌ای باشد که در طول زمان توزین t از طریق میدان گرانش به جسمی به جرم m△ وارد می شود. از این جا نتیجه می شود:

$$\Delta p \approx \frac{h}{\Delta q} < T \cdot g \cdot \Delta m, \qquad (۶)$$



شکل ۸

در این رابطه، g شتاب گرانش[۱۴۰] است. اما هر چه دقت در خواندن q، یعنی محل عقربه، بیشتر باشد، در صورتی که بخواهیم وزن جعبه و محتویاتش را با دقت Δm تعیین کنیم، زمان توزین t نیز بیشتر خواهد شد.

اما بنا بر نظریهٔ نسبیت عام، ساعتی که در جهت گرانش[۱۴۱] تغییر مکانی به اندازه Δq داشته باشد، تغییری در آهنگ حرکتش ایجاد می شود که در پایان زمان T، زمان را با اختلاف Δt نشان می دهد، رابطهٔ زیر Δt را به دست می دهد:

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{1}{c^2}\, g\, \Delta q$$

با مقایسهٔ روابط (۶) و (۷) خواهیم دید که بعد از توزین، در آگاهی ما از تنظیم کردن ساعت نوعی بی دقتی وجود دارد که از رابطهٔ زیر به دست می آید:

$$\Delta T > \frac{h}{c^2\, \Delta m}$$

با استفاده از رابطهٔ (۵)، این رابطه به

$$\Delta T \cdot \Delta E > h\,,$$

منتهی می شود که با اصل عدم قطعیت مطابقت دارد.
نتیجتاً استفاده از دستگاه به منظور اندازه گیری انرژی فوتون، ما را از تعیین زمان خروج فوتون باز خواهد داشت.
این بحث که به خوبی قدرت و استحکام مباحث نسبیّت را نشان می دهد، یك بار دیگر لزوم تمایز در مطالعهٔ پدیده های اتمی میان ابزارهای اندازه گیری را، که به کار تعیین چارچوب مرجع می آید و قسمتهایی از ابزارهای اندازه گیری را که بدانها باید همچون اشیای مورد تحقیق نظر داشت و از اثرات کوانتومی آنها نمی توان صرف نظر کرد، خاطر نشان ساخت. علی رغم تأیید انتظام منطقی این نتایج و تهیّهٔ

140. Schwerbeschleunigung 141. Schwerkraft

وسیع شیوهٔ تشریح کوانتومی، اینشتین در جریان یکی از گفتگوهای بعدی ما احساس نارضایتی خود از فقدان ظاهری اصول مستحکم برای تشریح طبیعت را که مورد قبول همگان باشد، ابراز داشت. من چنین پاسخ دادم که در وظیفهٔ ایجاد نظم در زمینهٔ تجربی کاملا جدید، اعتماد به اصول سنتی مورد قبول ــ هرچه که باشد ــ و از هر موقعیتی که برخوردار باشد، به سختی ممکن است. تنها می‌توان این توقع را داشت که این اصول با یکدیگر ناسازگاری منطقی نداشته باشد، صورتگرایی مکانیك کوانتومی از این لحاظ کاملا رضایت بخش است.

کنگرهٔ سولوای در سال ۱۹۳۰ آخرین فرصتی بود که توانستیم در آن در بحثهای مشترك خود با اینشتین از تأثیر محرك و وساطت «ارنفست» بهره‌مند شویم. اما اندکی پیش از مرگ تأسف‌انگیزش در سال ۱۹۳۳، ارنفست برایم گفته بود که اینشتین از این وضع احساس رضایت نمی‌کرد و با همان تیزهوشی معمول خود وجوه جدیدی از این مسائل را یافته بود که وی را در نظر انتقادی خود مصرتر می‌ساخت. در حقیقت اینشتین با بررسی دقیقتر امکان کاربرد یك ترازو، راههای دیگری را تصور کرده بود، که هر چند در آغاز به کاری که مقصود او بود نمی‌آمد، اما به نظر می‌رسید که تناقضات موجود را، بدون آن که امکان حل منطقی آنها موجود باشد، بیش از پیش تشدید می‌کرد. بدین دلیل، اینشتین متوجه‌شده بود که با توزین جعبه و ساعت، و بعد انتشار فوتون، بازهم این امکان را داریم که یا توزین را تکرار کنیم و یا جعبه را باز کنیم و زمانی را که ساعت نشان می‌دهد با زمان یك ساعت معیار مقایسه کنیم. از این جا نتیجه می‌شود که در این مرحله هم می‌توانیم، در مورد انرژی فوتون، و یا در مورد لحظهٔ انتشار آن نتایجی را استنتاج کنیم. در مورد فوتون می‌توانیم ــ بی‌آن که به وجهی در لحظه‌ای بین لحظهٔ انتشار و لحظه‌ای که فوتون با دیگر دستگاههای اندازه‌گیری وارد برهمکنش می‌شود، بر آن تأثیر بگذاریم ــ پیش بینیهای دقیقی *یا* در مورد لحظهٔ ورود آن و *یا* در مورد انرژی آزاد شدهٔ ناشی از جذب آن بکنیم. اما از آن جا که بنابر صورتگرایی مکانیك کوانتومی، تعیین وضع یك ذرهٔ منفرد نمی‌تواند با تعیین دقیق زمان و هم با اندازه دقیق انرژی همراه باشد، ممکن است به نظر رسد که چنین صورتگرایی امکان تشریح، مناسب را ارائه نمی‌دهد.

یك باردیگر فکر پژوهشگر اینشتین وجه خاص دیگری از این موقعیت در نظریهٔ کوانتومی را، که تا چه حد در این جا از توضیح معمول پدیده‌های طبیعی فراتر

رفته‌ایم، به بارزترین وجهی نشان داد. با همهٔ اوصاف من نمی‌خواستم با جهت کلی یی که این نکات متوجه آن بود ـــ به گونه‌ای که ارنفست برایم نقل کرده بود ـــ موافق باشم. به گمان من تنها دو راه وجود داشت تا نشان دهیم که این صورتگرایی ریاضی منسجم[142] نامناسب بود: باید نشان می‌دادیم که یا نتایج آن با تجربه موافقت ندارد، و یا آن که پیش بینیهایش تمامی امکانات مشاهده را دربر نمی‌گیرد. در این جا دلایل اینشتین به هیچ یك از این دو کار نمی‌خورد. باید توجه داشته باشیم که در این جا، فی الواقع با *یك* آرایش تجربی کاملا مشخص سروکار نداریم، بلکه دو آرایش متباین با یکدیگر مورد توجه است. در یکی از این دو دستگاه، ترازو به همراه وسیلهٔ دیگری مثلا یك طیف سنج[143]، به منظور مطالعهٔ انرژی انتقال یافته توسط فوتون، مورد استفاده قرار می‌گیرد، در حالی که در دیگری از کشویی استفاده می‌کنیم که ساعت معیار آن را باز و بسته می‌کند و خود کشو متصل به دستگاه دیگری از همین نوع است که بر اساس این ساعت تنظیم شده تا زمان انتشار فوتون در فاصلهٔ مشخصی را اندازه‌گیری کند. در هر دو حالتِ فوق، همچنان که اینشتین خود پذیرفت، اثرات قابل مشاهده در انطباق کامل با پیش بینیهای نظری است.

این مسئله یك بار دیگر لزوم توجه به کل دستگاه اندازه‌گیری را، که مشخص کردن دقیق آن در کاربرد معین صورتگرایی مکانیك کوانتومی ضروری است، خاطرنشان می‌سازد. این نکته را هم ضمناً می‌توان افزود که با احکام باطلنمایی از این نوع در دستگاه بسیار سادهٔ شکل ۵ نیز برخورد خواهیم کرد. در واقع بعد از اندازه‌گیری مقدماتی تکان دیافراگم و پس از عبور الکترون یا فوتون از شیار، می‌توانیم بین تکرار اندازه‌گیری تکان و یا تعیین وضعیت دیافراگم، یکی را انتخاب کنیم و بدین ترتیب مشاهدات بعدی مختلف را پیش بینی کنیم. همچنین می‌توان افزود که در مورد اثرات قابل مشاهده با دستگاه تجربی، این که ساختمان و طرز استفاده از ابزارها از پیش مشخص شده باشد، یا این که اتمام این کارها را به زمان دیگری موکول کنیم که در آن لحظه ذره از دستگاهی به دستگاه دیگری می‌رود، اهمیّت چندانی ندارد.

142. In sich geschlossener mathematischer Formalismus 143. Spektrometer

در تشریح مکانیك کوانتومی، برخورداری از آزادی در ساختمان و استفاده از آرایشهای تجربی، معنای خاص خود را در امکان انتخاب پارامترهای تعریف شدهٔ کلاسیك می یابد، که در هر گونه کاربرد منطقی صورتگرایی مکانیك کوانتومی وارد می شود. مکانیك کوانتومی از تمامی جهات با وضعیت موجود در فیزیك کلاسیك متناظر است؛ تناظری که با توجه به فردیّت درونی پدیده‌های کوانتومی تا سرحد امکان به مکانیك کلاسیك نزدیك است. انتقادات اینشتین در روشن شدن این نکات یك بار دیگر محرکی دلپذیر بود که ما را به پژوهش جوانب اساسی این مسئله واداشت.

کنگرهٔ بعدی سولوای در سال ۱۹۳۳ به مسائل ساختمان و خواص هسته‌های اتمی اختصاص داده شد. در این زمینه به برکت کشفیّات تجربی و موفقیتهای جدید کاربرد مکانیك کوانتومی، پیشرفتهایی حاصل شده بود. در این مورد لازم به یادآوری نیست که این امر نتیجهٔ مطالعهٔ تبدیلات هسته‌ای مصنوعی[144] بود که مستقیماً قانون اساسی اینشتین در مورد هم ارزی میان جرم و انرژی را تعیین می کرد و اهمیّت آن، در پیشبرد تحقیقات بنیادی فیزیك هسته‌ای هر روز بیش از پیش روشن می شد. این را هم باید خاطرنشان سازیم که شناخت شهودی اینشتین از وجود رابطه‌ای نزدیك بین قانون تبدیلات رادیواکتیو و قوانین احتمالات حاکم بر اثرات تابشی منفرد را (به صفحه ۶۶ مراجعه کنید) توضیح کوانتومی ـ مکانیکی تلاشی هسته‌ای خودبه‌خودی[145] تأیید کرد. در این جا درحقیقت با نمونهٔ بارزی از شیوهٔ تشریح آماری سروکار داریم که در آن رابطهٔ مکملی میان بقای انرژی ــ تکان از طرفی، و تعیین مختصات فضا ــ زمانی از طرف دیگر در پارادُکس مشهور عبور ذرات از سدّهای پتانسیل[146] به بهترین وجهی پدیدار می شود.

اینشتین در این کنگره شخصاً شرکت نداشت و کنگره در زمانی برگزار شد که تحولات اسفناك دنیای سیاست، که می بایست بر سرنوشتش عمیقاً تأثیر گذارد و

144. künstliche Kernumwandlungen

145. spontaner Kernzerfall

146. Potentialschwellen

وظایفش را در خدمت به بشریّت سنگینتر، سازد، بر آن سایه افکنده بود. امّا چند ماهی پیش از برگزاری کنگره، به هنگام ملاقات با او در «پرینستون»، که در آن جا اینشتین میهمان انستیتوی مطالعات عالی[۱۴۷] بود، که به تازگی تأسیس شده بود، و اندکی بعد از این ملاقات وی در آن جا اشتغال دایم یافت، فرصت یافتم تا با او دوباره دربارهٔ جوانب معرفتشناختی فیزیك اتمی به صحبت بنشینم، اما اختلاف در نحوهٔ برخورد و بیان ما باردیگر مانعی درراه تفاهم بین ما شد. تا آن زمان عدهٔ نسبتاً کمی در این بحث که به ارائهٔ گزارش دربارهٔ آن مشغولم، شرکت داشتند. اندکی بعد اینشتین نظر انتقادی خودرا دربارهٔ نظریه کوانتومی که بسیاری از فیزیکدانها آن را پذیرفته بودند، در مقاله‌ای[(۱۱)] در سال ۱۹۳۵ با همکاری «پودولسکی[۱۴۸]» و «روزن[۱۴۹]» تحت عنوان «آیا تشریح واقعیت فیزیکی ازراه مکانیك کوانتومی را می توان جامع دانست؟»[۱۵۰] منتشر کرد.

دلایل ارائه شده در این مقاله برمعیاری مبتنی است که آن را این چنین می توان بیان کرد: «درصورتی که در سیستمی داده شده، بدون آن که به گونه‌ای در آن اختلال ایجاد کنیم، بتوانیم با اطمینان[۱۵۱] (یعنی با احتمالی برابر با واحد) مقدار یك کمیّت فیزیکی را پیش بینی کنیم، در این صورت باید جزئی از یك واقعیت فیزیکی یی وجود داشته باشد که با این کمیّت مطابقت کند.» مؤلّفین این مقاله بعد از این، با توجه به سیستمی متشکل از دو قسمت، که برای مدتی محدود در برهمکنش است، تشریحی را که صورتگرایی مکانیك کوانتومی از این سیستم به دست می دهد و نتایج ناشی از آن را در نهایت زیبایی ارائه می دهند. آنها سپس چنین نتیجه می گیرند که کمیّتهای مختلف که بدانها مقدار معیّنی را در تشریح یکی از دو سیستم جزئی نمی توان مربوط دانست، با اندازه گیری هایی بر روی سیستم دیگر مقدار آنها را می توان کم و بیش

147. Institute for Advanced Study

(11). A.Einstein, B.Podolsdy und N.Rosen, Phy. Rev. 47, 777 (1935).

148. Podolsky 149. Rosen

150. Can Quantum-Mechanical Description of Pysical Reality be Considered Complete? 151. Sicherheit

پیش بینی کرد. مؤلفین مقاله سرانجام بر اساس استدلالهای خود نتیجه می گیرند که مکانیك کوانتومی «تشریح جامع از واقعیت فیزیکی ارائه نمی دهد» و اعتقاد خودرا مبنی بر این که امکان پیشبرد تشریحی مناسبتر از پدیده‌ها موجود است، ابراز می دارند.

مقالهٔ اینشتین، پودلسکی و روزن به دلیل وضوح و قطعیت ظاهری دلایلش، در میان فیزیکدانها جنب و جوشی را موجب شد و در بحثهای فلسفی عمومی نقش بسیار مهمی را ایفا کرد. موضوع این بحثها محققاً طبیعتی بسیار دقیق دارد و خود نشان می دهد که تاچه حد در نظریهٔ کوانتومی از حدود تصورات واضح وروشن فراتر رفته‌ایم. در این جا نیز خواهیم دید که با مسائلی سروکار پیدا خواهیم کرد که اینشتین در بحثهای پیشین خود مطرح کرده بود. در مقاله‌ای(۱۲) که من چندماهی بعد منتشر کردم، سعی کردم نشان دهم که از دیدگاه مکملی، این تضادهای ظاهری به کلی از میان می رود. اساس این بحثها در اصل همان بود که در صفحات پیش ارائه دادم. برای یادآوری چگونگی بحثهای آن زمان، اجازه می خواهم به نقل قسمتهایی از مقاله بپردازم.

در این مقاله پس از ذکر نتایجی که اینشتین، پودلسکی و روزن براساس معیارهای خود استنتاج کرده بود، چنین نوشتم:

> «دلایلی این چنین، به ظاهر مناسب به نظر نمی رسد تا بتواند اعتبار تشریح ازراه مکانیك کوانتومی را مورد تردید قرار دهد. این مکانیك کوانتومی که براساس صورتگرایی ریاضی منسجمی بنا شده است، هر شیوهٔ اندازه گیری را، همچنان که در این جا مطرح است، خود به خود در بر دارد. تناقض ظاهری در این میان تنها نشان می دهد که دیدگاه معمول فلسفهٔ طبیعی اساساً ناتوان است تا پدیده‌هایی را منطقاً تصور کند که در مکانیك کوانتومی بدانها برخورد می کنیم. برهمکنش *متناهی میان شیء و ابزارهای اندازه گیری*، که خود نتیجهٔ مستقیم وجود کوانتوم کنش است ــ از آن جا که امکان مهار واکنش شیء بر دستگاه اندازه گیری وجود ندارد ــ ضرورت اعراض قطعی از آرمان علیّت و تجدیدنظر بنیانی در نحوهٔ برخورد ما با مسئلهٔ واقعیّت فیزیکی را ایجاب می کند. خواهیم دید که معیار واقعیت، همچنان که سه مؤلف فوق ــ هر چند در نهایت احتیاط ــ آن را ارائه داده اند، آنگاه که به مسائل کنونی مورد نظر ما اعمال شود، ابهامی اساسی را موجب می شود.

(12). N.Bohr, Phy. Rev. 48, 696 (1935).

در ادامهٔ مقاله، در زمینهٔ مسئلهٔ خاص مورد توجه اینشتین، پودلسکی و روزن، نشان دادم که در نمایش حالت یك سیستم متشکل از دو شیء اتمی، که در بر همکنش با یکدیگر است، نتایج صورتگرایی با دلایل ساده ای که در بالا به هنگام بحث دربارهٔ آرایشهای تجربی مناسب بر مطالعهٔ پدیده های مکملی ارائه دادیم، مطابقت دارد. هر جفت متغیر مزدوج مکان و تکان p و q، اگر چه فی الواقع از قانون ضرب غیر جا به جایی رابطهٔ (۲) اطاعت می کند و با عدم دقت متقابلی بر اساس رابطهٔ (۳) می تواند تعیین شود، اختلاف مختصات مکانی $q_1 - q_2$، که به اجزای متشکلهٔ سیستم مربوط می شود، قابل جا به جا شدن با مجموع $p_1 + p_2$ است که مؤلفه های تکانهای متناظر است. زیرا q_1 با p_2، و q_2 با p_1 مستقیماً قابل جابه‌جایی است. نتیجتاً هم $q_1 - q_2$، و هم $p_1 + p_2$ را در وضعیت سیستم پیچیده می توان با دقت هر چه بیشتر تعیین کرد و به دنبال آن وضعیت مقادیر q_1 یا p_1 را، در صورتی که q_2 یا p_2 را به ترتیب از طریق اندازه گیری مستقیم تعیین کرده باشیم، پیش بینی کرد. اگر یك ذره و یا دیافراگمی را مانند شکل ۵ به عنوان دو جزء سیستم در نظر بگیریم، خواهیم دید که امکان مشخص کردن حالت ذره از طریق اندازه گیری بر روی دیافراگم با موقعیتی که در صفحه ۸۳ و مفصلا در صفحه ۹۳ تشریح کردیم، مطابقت دارد. در آن جا به این نکته اشاره کردیم که بعد از عبور ذره از دیافراگم، اصولا میان اندازه گیری محل و یا تکان ذره می توانستیم یکی را انتخاب کنیم و در هر مورد در رابطه با مشاهدات بعدی بر روی ذره، پیش بینیهایی بکنیم. همچنان که به کرات این مطلب را خاطر نشان ساختیم، نکتهٔ اساسی در این جا این است که اندازه گیری هایی از این نوع به آرایشهای تجربی مانعة الجمع نیازمند است.

دلایل ارائه شده در مقالهٔ فوق الذکر در بند زیر خلاصه شده است:

«اکنون از نظر ما می توان دید که عبارت معیار واقعیت فیزیکی پینشهادی از جانب اینشتین، پودلسکی و روزن ابهامی را در ارتباط با مفهوم عبارت «بدون این که به نوعی اختلالی در سیستم ایجاد کنیم» در بر دارد. بدیهی است که در چنین موردی صحبت از اختلال مکانیکی، در دستگاه مورد بررسی در آخرین مراحل حساس فرایند اندازه گیری نمی تواند مطرح باشد؛ اما، حتی در این مرحله، بحث اصلی، *مسألهٔ تأثیر بر روی شرایطی است که خود انواع ممکن پیش بینیها در ارتباط با رفتار آتی سیستم را تعیین می کند.* از آن جا که این شرایط،

عنصر ماندگار[152] در تشریح هر پدیده ای است که بدان می توان عبارت «واقعیت فیزیکی» را به درستی نسبت داد، می بینیم که استدلال ارائه شده توسط مؤلفین مقالهٔ مذکور به آنها این حق را نمی‌دهد تا بتوان چنین استنتاج کرد که که تشریح از راه مکانیك کوانتومی اساساً ناقص است. از طرف دیگر همچنان که از بحث قبلی برمی آید، چنین تشریحی را می توان همچون مشخصهٔ استفادهٔ معقول از تمامی امکانات در تفسیری بی ابهام از اندازه گیری هایی دانست که در نظریهٔ کوانتومی سازگار با همکنشی متناهی و غیرقابل کنترل میان اشیا و ابزارهای اندازه گیری باشد. در حقیقت در مانعة‌الجمع بودن دو روش تجربی دلخواه، که امکان تعریف بی ابهام کمیتهای فیزیکی مکمل را می‌دهد، می توان، برای قوانین جدید فیزیکی، که شاید همزیستی آنها با یکدیگر در بدو امر ناسازگار با اصول اساسی علم به نظر رسد، جایی پیدا کرد. و درست همین وضعیت کاملا جدید در توصیف پدیده‌های فیزیکی است که مفهوم *مکملی* منظور دارد».

با دوباره خواندن این عبارات، به طرز بیان غیر کارآمد، که دنبال کردن دلایل یکی بعد از دیگری را نیز مشکل کرده است، عمیقاً وقوف می یابیم. ارائه دلایل یکی پس از دیگری بدین منظور بود تا ابهامی اساسی را در رابطه با خواص فیزیکی اشیای درگیر در پدیده‌ها نشان دهم؛ وضعیتی که در آن تمیز روشن میان رفتار اشیاء و برهمکنش آنها با ابزارهای اندازه گیری ممکن نیست. با این وجود امیدوارم که گزارش این بحثها، که در جریان سالهای گذشته با اینشتین داشتیم و به آشنا شدن ما به وضعیت موجود در فیزیك بسیار کمك کرد، بتواند در ما تصور روشنتری از ضرورت تجدیدنظر اساسی را در اصول بنیادی تبیین فیزیکی ایجاد کرده باشد، تا بتوانیم نظم منطقی در این حوزهٔ تجربی را دوباره برقرار کنیم.

در آن زمان، نظرات اینشتین در سال ۱۹۳۶ در مقاله‌ای تحت عنوان «فیزیك و واقعیت» در مجلهٔ انستیتو فرانکلین[153] منتشر شد(۱۳). در این مقاله اینشتین، با ارائهٔ تصویری بی نهایت روشن از گسترش تدریجی اصول اساسی نظریه‌های فیزیك کلاسیك و رابطهٔ آنها با مسئلهٔ واقعیت فیزیکی، این نظر را بیان می دارد که فرمالیسم

152. immanentes Element 153. Journal of the Franklin Institute

(13). A.Einstein, Journ. Franklin Institute 221, 349 (1936).

مکانیك کوانتومی را باید همچون وسیلهٔ تشریح رفتار معمول تعداد کثیری از سیستم‌های اتمی دانست. نظراو دربارهٔ این عقیده که چنین صورتگرایی، تشریح همه‌جانبهٔ پدیده‌های منفرد را ارائه دهد، در این جمله بیان می‌شود: «چنین اعتقادی منطقاً ممکن و بری از تناقض است، ولی این اعتقاد به حدی با غریزهٔ علمی من مغایرت دارد که جستجو دربارهٔ یافتن نظامی جامعتر از مفاهیم را نمی‌توانم رها کنم.»

گرچه نظر اینشتین می‌تواند نظری بسیار متعادل باشد، اما در اصل به معنی رد تمامی دلایلی است که بدانها اشاره کردیم؛ دلایلی که می‌خواهد نشان دهد که مکانیك کوانتومی به هیچ وجه اعراض خودسرانه از تحلیل پدیده‌های اتمی را به ما پیشنهاد نمی‌کند، بلکه قبول این واقعیت را در نظر دارد که چنین تحلیلی *اصولاً* منتفی است. ویژگی فردیت تأثیرات کوانتومی به هنگام فهم تجربه‌ای کاملاً مشخص، ما را در مقابل وضعیت کاملاً جدیدی در فیزیك کلاسیك قرار می‌دهد و با تمامی افکار معمول که تجربیات ما را تاکنون رهنمون بوده، ناسازگار است. بدین معنی نظریهٔ کوانتومی خواستار آن است تا یك بار دیگر در اصولی تجدید نظر کنیم که استفادهٔ بدون ابهام از مفاهیم اولیّه بر آنها مبتنی است؛ امری که به معنای مرحلهٔ جدیدی از پیشرفت است که خود بعد از پیدایش نظریه نسبیت مشخصهٔ بارز علوم جدید است.

در سالهای بعد، جنبه‌های بیشتر فلسفی چنین وضعیتی در فیزیك اتمی، توجه محافل وسیعتری را به خود جلب کرد. این موارد به خصوص در ژوئیهٔ ۱۹۳۶، در دومین کنگره جهانی برای وحدت علم، در کپنهاگ مورد بحث قرار گرفت. در سخنرانی‌یی[۱۴] که من در همین فرصت ایراد کردم، سعی کردم بیش از هر چیز مشابهت میان محدودیتهایی را که در تشریح علّی فیزیك اتمی وجود دارد و وضعیتهایی را که در دیگر زمینه‌های شناخت با آنها مواجه هستیم، از دیدگاه معرفتشناختی خاطر نشان سازم. یکی از اهداف اصلی این مقایسه توجه دادن به این واقعیت بود که ما در بسیاری از زمینه‌ها، که در آنها منافع کلی بشری مطرح است،

(14). N.Bohr. Erkenntnis 6, 293, and Philosophy of Science 4, 289 (1937).

خود را در مقابل لزوم توجه به مسائلی می یابیم که با مسائل مطرح شده در نظریهٔ کوانتومی مشابهت دارد. بدین ترتیب ضروری است که به زبان به ظاهر غیرمعقولی که فیزیکدانها در ستیز با مسائل حاد خود به وجود آورده‌اند، بنیان گسترده‌تری دهیم.

علاوه بر خصلت مکملی که در روانشناسی پدیدار می شود و دربارهٔ آن صحبت کردیم (به صفحه ۸۸ مراجعه کنید)، در زیست شناسی نیز می توان نمونه‌هایی از همین روابط را، به خصوص با مقایسهٔ آرای مکانیستی[۱۵۴] با آرای حیات گرایانه[۱۵۵] پیدا کرد. دومین کنگره جهانی دربارهٔ نوردرمانی[۱۵۶]، که در سال ۱۹۳۲ در کپنهاگ برگزار شد،(۱۵) یکی از موضوعهای مورد بحث به خصوص مسئلهٔ مشاهده بود. در این جا در میان دیگر حرفها، این مطلب نیز مورد بحث قرار گرفت که همراهی میان تن و جان، آن چنان که «لایبنیتس» و «اسپینوزا» آن را مورد نظر دارند، به دنبال پیشرفتهای فیزیك اتمی، وسعت بیشتری یافته است. همین پیشرفتها ما را درمقابل مسئلهٔ توضیح مطلب ناچار به اتخاذ موضعی کرده است که یادآور هشدار گذشتگان است که می گویند: «به هنگام جستجوی هماهنگی در زندگی، هرگز فراموش نکنید که ما در نمایشنامهٔ وجود، هم بازیگریم و هم تماشاگر».

این چنین اظهاراتی طبیعتاً می تواند احساس استمداد از باطن را، که بیگانه با روح علم است، درمیان برخی بیدار کند. به همین دلیل در سال ۱۹۳۶ در کنگره‌ای که در بالا بدان اشاره شد، سعی کردم این سوءتفاهم‌ها را بزدایم و تأکید کنم که تنها سعی بر این است تا در هر یك از زمینه‌های علمی شرایط تحلیل و ترکیب تجارب روشن شود. ولی متأسفانه موفقیت چندانی درمتقاعد کردن حاضرین در این جلسه نداشتم. طبیعی است که اختلاف نظر میان فیزیکدانها خود دلیلی بر ایجاد این شك

154. mechanistische Weltanschauung 155. vitalistische Weltanschauung

156. Lichttherapie

(15). II^{e} Congrès international de la Lumière, Copenhague 1932. (abgedruckt in Nature 131, 421 und 457 (1933); siehe auch Die Naturwiss. 21, 245 (1933) und.s. 3ff. borl. band.

شد که لزوم اعراض از انتظارات معمول در توضیح پدیده‌های طبیعی، تاچه میزان است. در بحثهای دیگری که در سال ۱۹۳۷ در پرینستون با اینشتین داشتم ــ وخود نوعی مجادلهٔ لفظی طنزآمیز بود ــ فقط در این باره به گفتگو نشستیم که اگر «اسپینوزا» تکامل امروزی را به چشم دیده بود، چه موضعی را اتخاذ می‌کرد. همین بحث در عین حال برایم هشداری بود که در تمامی مسائل اصطلاحشناختی وجدلی باید نهایت احتیاط را به کار برد.

این وجوه مسئله در کنگره‌ای که در سال ۱۹۳۸ در ورشو برگزار شد، وانستیتوی بین المللی همکاریهای فکری جامعهٔ ملل آن را تدارک دیده بود(۱۶)، مورد بحث قرار گرفت. در سالهای پیش ازبرگزاری کنگره، در دانش فیزیک اتمی پیشرفتهای مهمی روی داده بود. این پیشرفتها را ازطرفی برخی ازکشفیات اساسی درمورد ساختمان و خواص هستهٔ اتمی و از طرف دیگر گسترشهای مهم صورتگرایی ریاضی که شرایط نظریه نسبیت را نیز درنظر گرفته بود، سبب شد. نظریهٔ اخیر کوانتومی هوشمندانهٔ دیراك در موردالکترون، نمونهٔبارزی از قدرت و ثمربخشی شیوهٔ تشریح کلی مکانیك کوانتومی بود. پدیده‌های پیدایش[۱۵۷] و نابودی[۱۵۸] زوجهای الکترون[۱۵۹]، ما را درمقابل خصلتهای اساسی اتمیستی[۱۶۰] جدیدی قرار می‌دهد ــ که در رابطهٔ نزدیك با جنبه‌های غیرکلاسیك آمار کوانتومی بود که اصل طرد بیانگر آن است ــ وما را مجبور به اعراض قطعی تر ازهرگونه توضیحی ازراه تجسم روشن می‌کرد.

در این بین، بحث دربارهٔ مسائل معرفتشناختی فیزیك اتمی بیش ازهر وقت دیگر مورد توجه واقع شد و با تفسیر عقاید اینشتین دربارهٔ خصلت ناقص شیوهٔ تشریح کوانتومی، من بازهم مستقیمتر به صحبت دربارهٔ اصطلاحات پرداختم. در این زمینه، خصوصاً احتراز ازجملاتی چون «مختل کردن پدیده‌ها ازطریق مشاهده»، یا «به اشیای اتمی ازطریق اندازه‌گیری ویژگیهای کیفی فیزیکی نسبت دادن» را که در

(16). New Theories in Physics, Paris (1938), 11.

157. Entstehung 158. Vernichtung 159. Elektronenpaar

160. Grundzüge der Atomistik

مقاله‌های فیزیك کراراً بدانها برمی خوریم، توصیه کردم. این عبارات از طرفی یادآور باطلنماهای ظاهری نظریهٔ کوانتومی است، و از طرف دیگر مستعد به ایجاد ابهام؛ زیرا واژه‌هایی چون «پدیده» و «مشاهده» و همچنین «ویژگی کیفی» و «اندازه‌گیری» به شیوه‌ای به کار برده می شود که با زبان عامیانه و تعاریف عملی به دشواری سازگار است.

بدین منظور به عنوان شیوهٔ بیان مناسبتر پیشنهاد کردم که واژه پدیده منحصراً در ارتباط با مشاهداتی به کار رود که در آنها شرایط کاملا مشخص شده‌ای به دست آمده باشد و تشریح چگونگی آرایش تجربی نیز مشخص باشد. در این مجموعهٔ اصطلاحات، مسئلهٔ مشاهده از هرگونه ابهامی بری است، چرا که در تجارب واقعی، تمامی مشاهدات از طریق گزاره‌های بی ابهام بیان می شود که مثلا به ثبت نقطهٔ برخورد الکترون با صفحهٔ عکاسی مربوط می شود. به علاوه، چنین زبانی به خصوص این مناسبت را دارد تا بتوان این واقعیت را خاطرنشان ساخت که تفسیر فیزیکی مناسب صورتگرایی نمادی مکانیك کوانتومی، به پیش بینیهایی با خصلتی معین یا آماری تقلیل می یابد که مربوط به پدیده‌هایی می شود که در شرایطی که مفاهیم فیزیك کلاسیك آنها را تعیین می کند به وجود می آید.

تفاوت بین مسائل فیزیکی، که منجر به گسترش نظریهٔ نسبیّت و نظریهٔ کوانتومی گردید، هرچه باشد، مقایسهٔ جنبه‌های مطلقاً منطقی استدلالهای نظریهٔ نسبیّت و نظریهٔ مکملی مشابهتهای عمیقی را نشان می‌دهد که در پیوند با اعراض از نسبت دادن معنی مطلق به ویژگیهای کیفی فیزیك معمول اشیا است. همچنین اغماض از ترکیب اتمیِ خود ابزارهای اندازه‌گیری در تشریح تجربه‌یی واقعی، به یك اندازه از مشخصات کاربردی نظریه نسبیت و نظریه کوانتومی محسوب می شود. بدین ترتیب، کوچکی کوانتوم کنش در مقایسه با کنش هایی که در آزمایش های معمول، از جمله آرایش و استفاده از دستگاههای فیزیکی وجود دارد، به همان قدر در فیزیك اتمی اساسی است که در نظریه نسبیت عام تعداد کثیر اتمهای متشکلهٔ جهان اهمیّت دارد. همچنان که می‌دانیم، نظریه نسبیّت عام می گوید که ابعاد ابزارهای اندازه‌گیری زوایا را می توان نسبت به شعاع انحنای فضا[۱۶۱] کوچکتر کرد.

161. Krümmungsradius

در سخنرانی‌یی که در ورشو ایراد کردم، استفادهٔ نظریهٔ نسبیت و نظریه کوانتومی از صورتگراییهایی را که هیچ گونه تصویر روشنی متناظر با آنها نیست، چنین تفسیر کردم:

«حتی صورتگراییهایی که در هر یك از نظریه‌ها در زمینهٔ خاصّ خود، امکانات مناسبی را ارائه می‌دهد که همگی تجربیات قابل تصور را در برگیرد، دال بر مشابهتهای عمیق میان یکدیگر است. حقیقت این است که سادگی حیرت انگیز عمومیّت دادن به نظریه‌های فیزیکی، که خود حاصل استفاده از هندسهٔ چند بعدی[۱۶۲] وجبر غیر جابجایی است، اساساً در هر دو مورد مبتنی بر وضع علامت قراردادی $\sqrt{-1}$ است. با بررسی دقیقتر می‌بینیم که خصلت مجرد این صورتگرایی‌ها، هم مختص به نظریهٔ نسبیّت است وهم مکانیك کوانتومی. در این مورد، نظریهٔ اول را مکمل فیزیك کلاسیك دانستن و نه به عنوان اوّلین قدم قطعی در تجدید نظر عمیق در مفاهیمی که به منظور مقایسهٔ مشاهداتی به کارمی گیریم که پیشرفتهای اخیر فیزیك به ما تحمیل کرده است، تنها یك مسئلهٔ ساده عرفی است.»

محققاً درست است که ما در فیزیك اتمی خود را در مقابل مسائل اساسی حل نشده‌ای می‌بینیم، به خصوص در مورد رابطهٔ نزدیك میان واحد اوّلیهٔ بار الکتریکی و کوانتوم عام کنش، اما این مسائل به حدّی که حفظ نظریهٔ نسبیّت در ارتباط با مسائل لاینحل کیهان شناسی[۱۶۳] اهمیّت دارد، با نظریات معرفتشناختی مورد بحث در بالا مرتبط نیست. در نظریهٔ نسبیّت، همچنین در نظریهٔ کوانتومی، سروکارما با جنبه‌های جدید تحلیل وترکیب علمی است، و از این نظر ذکر این نکته اهمیّت دارد که حتی در دورهٔ مهم فلسفه انتقادی[۱۶۴] قرن گذشته، تنها این که برهان پیشینی[۱۶۵] تاچه حد می‌تواند نظم مکانی ـ زمانی و ارتباط علی تجارب با یکدیگر را توجیه کند، مطرح بوده است، در حالی که از تعمیم‌های عقلی یا محدودیتهای باطنی این مقولات فکر بشری، هرگز صحبتی در میان نبوده است.

اگرچه در این سالهای اخیر نیز چندین بار فرصت ملاقات با اینشتین را یافتم،

162. multidimensionale Geomtrie
163. Kosmologie
164. kritische Philosophie
165. apriorische Begründung

ادامهٔ این بحثها، که همواره برایم درس جدیدی بود، هنوز به یافتن یك نظر مشترك دربارهٔ مسائل معرفتشناختی فیزیك اتمی منتهی نشده است. اختلاف نظر میان من و او در یکی از شماره‌های مجلهٔ «دیالکتیکا»(۱۷) که به بحث کلی دربارهٔ این مسائل پرداخته، شاید به روشنترین وجهی بیان شده باشد. با آگاهی بر آنچه که مانع توافق میان من و او در موردی می گردد که شیوهٔ تحقیق و باطن شخصی هر یك از ما بر نظر ما تأثیر بسیار می گذرد، این فرصت را غنیمت شمردم تا به ارائه مفصل تکاملی بپردازم که به گمان من بر یك بحران اساسی در دانش فیزیك فائق آمده است. به نظر می رسد تعلیماتی که از این راه تحصیل کردیم ما را یك گام قطعی در راه نبرد بی پایان، به منظور ایجاد هماهنگی میان شکل[۱۶۶] و محتوی[۱۶۷]، جلوتر برده باشد. همین تعلیمات یك بار دیگر نشان داد که هیچ محتوایی را نمی توان بدون یك چارچوب صوری[۱۶۸] درك کرد. و هر چارچوبی را هر قدر که تاکنون مفید واقع شده باشد، می توان در شمول تجارب جدید در خود بسیار مضیق یافت.

در چنین وضعیتی که حصول توافق، نه تنها میان فلاسفه و فیزیکدانها، بلکه میان فیزیکدانهای مکاتب مختلف مشکل بوده است، بعید نیست که ریشهٔ چنین مشکلاتی مربوط به علاقه به استفادهٔ خاصّ از زبان باشد، که از نقاط آغازین متفاوت نتیجه می شود. در مؤسسهٔ کپنهاگ، که در آن طی سالهای اخیر عدهٔ زیادی از فیزیکدانهای جوان از کشورهای مختلف به منظور بحث با یکدیگر گردهم آمده بودند، عادت ما بر این بود که تا به هنگام گرفتاری خود را با شوخی ـ علی الخصوص با این ضرب المثل قدیمی دربارهٔ دو نوع حقیقت ـ تسلّی دهیم؛ در یکی از این دو، احکام به حدّی ساده و روشن است که حکم مخالف مسلماً غیر قابل دفاع است؛ و در دیگری، یعنی در به اصطلاح «حقایق عمقی[۱۶۹]» مدعایی وجود دارد که عکسش نیز حقیقتی عمیق در بر دارد. پیشرفت در زمینه‌ای جدید عموماً از مراحل گوناگونی می گذرد که طی آن آشفتگی[۱۷۰] به تدریج جای خود را به نظم می دهد. و این دست کم در مراحل واسطه‌ای نیست، یعنی آن جا که حقیقت در آن میان وجود دارد، که کار با

(17). N.Bohr, Dialectica 1, 312 (1948). 166. Form 167. Inhalt

169. Formaler Rahmen 169. tiefe Wahrheiten 170. Chaos

شور و شوق همراه است و تصور را به جستجوی محل اتکای محکمتری برمی انگیزد. در این مورد، شخصیت اینشتین در یافتن تعادل بین جدّی و شوخی نمونه‌ای بارز است؛ و وقتی هم من به بیان این اعتقاد می پردازم که ما به برکت همکاریهای ثمر بخش تمامی فیزیکدانهای نسل حاضر به هدفی نزدیك می شویم که در آن، نظم منطقی وسیعاً این اجازه را می دهد تا ازواقعیت عمیق حذر کنیم، امیدوارم که این هم به مفهوم «اینشتینی» آن درك شود و در عین حال طلب پوزشی از بابت برخی از مطالب باشد که در صفحات پیشین اظهار کرده‌ام.

بحثهای من با اینشتین که موضوع این مقاله بود طی سالیان زیادی صورت گرفت که شاهد پیشرفتهای بزرگی در زمینهٔ فیزیك اتمی بود. ملاقاتهای ما، کوتاه یا طولانی، همواره اثری عمیق ومداوم بر من داشت. با نوشتن این گزارش هم، حتی زمانی که به موضوعهای دیگری می پرداختم که ظاهراً بسیار دور از مسائل خاصّ مورد بحث بین من و او به هنگام ملاقات با یکدیگر بود، می توانم بگویم که دائم با او در حال بحث بودم. این که چگونه بحثها را بازگو کرده ام، بدین امر هم مسلماً وقوف دارم که تنها از حافظهٔ خود یاری جسته‌ام. بدین سبب، این امکان را هم به حساب می آورم که اینشتین برخی ازجنبه‌های نظریهٔ کوانتومی را که خود در آنها سهم مهمی داشته است، به گونهٔ دیگری ببیند. با این وجود، امیدوارم موفق شده باشم، تصویری روشن از آنچه که برای من و هر یك از ما به معنی بهره‌مندی از الهامات اینشتین به هنگام برخورد با او بوده است، به دست داده باشم.

وحدت[1] معرفت[2]

پیش از آن که بخواهیم به این سؤال پاسخ دهیم که تا چه حد می توان از وحدت معرفت صحبت کرد، باید بدواً از خود درباره مفهوم واژه معرفت سؤال کنیم. قصد من این نیست تا در این مورد به بحث فلسفی ـ آکادمیك بپردازم، زیرا که شرایط لازم بر آن را به سختی دارا هستم. هر دانشمندی پیوسته با مسئلهٔ تشریح عینی تجارب مواجه می شود، که برای ما چیزی جز مبادلهٔ بی ابهام اطلاعات نیست. مسلم است که ابزار اصلی ما بدین منظور زبان عادی است که احتیاجات زندگی روزمره را برآورده می کند و در خدمت روابط اجتماعی است. آنچه که در این جا مورد نظر ما است، منشاء[3] چنین زبانی نیست، بلکه وسعت مبادلهٔ اطلاعات علمی، و به خصوص این مسئله است که چگونه عینی بودن تشریح، در صورتی که تجارب از حوزهٔ رویدادهای زندگی روزانه فراتر رود، می تواند حفظ شود.

نکتهٔ اساسی که باید بدان توجه نمود این است که هر شناختی بدواً در چارچوب فکری[4] سازگار با تجارب گذشته بیان می شود، به طوری که این چارچوب، هرچه باشد، برای در بر گرفتن تجارب جدید می تواند خود را ناتوان نشان دهد. تحقیقات علمی در زمینه‌های مختلف شناخت کراراً ضرورت اعراض از برخی نظرات و یا اصلاح آنها را خاطرنشان ساخته است؛ نظراتی که به دلیل ثمربخش بودن و عدم محدودیت ظاهری قابل اعمال بودن آنها، برای تشریح عقلی، اجتناب ناپذیر

1. Einheit 2. Wissen 3. Ursprung 4. Begrifflicher Rahmen

شناخته شده. با این که چنین تکاملی از بررسیهای تخصصی ناشی شده است، مع الوصف همین تکامل تعلیمات کلی یی را شامل می گردد که خود برای مسئلهٔ وحدت معرفت اهمیّت فراوان دارد. در حقیقت، گسترش چارچوب فکری نه فقط به ایجاد نظم در رشته‌های مرتبط علوم پرداخت، بلکه در تحلیل و ترکیب تجارب، مشابهت حوزه‌های به ظاهر منفك علوم را نیز افشا کرد و بدین ترتیب امکان هرچه جامعتر شدن تشریح عینی را فراهم ساخت.

در صحبت از چارچوب فکری، منظور، تنها نمایش[5] روشن و منطقی روابط میان تجارب است. این برداشت، در تکامل تاریخی نیز، که در آن، تمایز روشنی میان منطق صوری[6] و علم معانی[7] وحتی نحو لغوی[8] دیگر وجود ندارد، دیده می شود. در این جا ریاضیات نقش ویژه ای دارد، به طوری که قاطعانه به تکامل فکر منطقی کمك کرده و تجریدات[9] کاملا مشخص آن در بیان روابط هماهنگ بسیار ارزشمند بوده است. با این وجود، ما در بحثهای خود، ریاضیات محض را همچون شاخه‌یی مجزا از حوزهٔ معرفت[10] نمی دانیم، بلکه آن را مانند پالایشی[11] از زبان عمومی می دانیم که بدان ابزارهای مناسبی برای بیان روابط اضافه شده است و عبارات زبان معمولی در بیان آنها نه دقت لازم را دارا است و نه با آن مناسبت دارد. در این زمینه میل دارم بر این نکته تأکید کنم که احتراز از رجوع به ضمیر آگاه ــ که بر زبان روزمره تأثیر زیادی دارد، به هنگام استفاده از نمادهای ریاضی به خصوص بدین کار می آید تا تعریف لازم بر هر تشریح عینی وضوح خود را حفظ کند.

گسترش علوم به اصطلاح دقیقه[12]، که مشخصهٔ آنها برقرار ساختن روابط عددی میان کمیّتهای قابل اندازه گیری است، استعمال روشهای ریاضی مجرد را، که غالباً بدون توجه به کاربردشان گسترش می یافت و تنها هدفش تعمیم بناهای منطقی است قاطعانه به پیش برد. این واقعیّت به خصوص به روشنی در فیزیك نمودار است که از آن در گذشته معرفت به طبیعت، که ما خود بخشی از آنیم، منظور بود؛ اما

5. Darstellung
6. formale Logik
7. semantische Studien
8. philologischer Syntax
9. Abstraktionen
10. Wissengebiet
11. Verfeinerung
12. exakte Naturwissenchaften

کم کم فیزیك به علمی اطلاق گردید که به مطالعهٔ قوانین اوّلیهٔ حاکم بر خواّص مادهٔ بی جان می پردازد. ضرورت توجّه مدام به مسئلهٔ تشریح عینی، حتی در این حوزهٔ نسبتاً ساده، طی قرون متمادی بر نگرش مکاتب فلسفی تأثیری عمیق گذاشت. در زمان ما، کاوش در حوزه‌های تجربی جدید، پیش فرضهای غیرمنتظره‌ای را برای کاربردِ روشن برخی از ابتدایی ترین مفاهیم ارائه داد و بدین طریق به ما درس معرفتشناختی یی آموخت که دامنه‌اش مسائل فراتر از حوزهٔ علوم فیزیکی را در بر می گیرد. بدین دلیل شاید مناسب باشد. بحث خود را با یادآوری مختصر این پیشرفت شروع کنیم.

یادآوری جزئیات این تکامل ما را به بیراهه خواهد کشاند، پس تنها به ذکر این مطلب می پردازیم که چگونه با حذف تصورات موهوم مربوط به نظام عالم و استدلالهای مربوط به هدفدار بودن اعمال خود ما، شالودهٔ مستحکم مکانیك بر اساس کارهای بدیع گالیله[۱۳] ریخته شد تا نیوتن آنها را استادانه به اتمام رساند. اصول مکانیك نیوتنی بیش از هر چیز مسئلهٔ دور از دسترس علت[۱۴] و معلول[۱۵] را روشن کرد. این اصول به ما امکان داد تا با دانستن حالت یك نظام فیزیکی مشخص در لحظه‌ای معیّن، به کمك کمیّتهای قابل اندازه‌گیری، حالت این نظام را در لحظهٔ دلخواه دیگری پیش بینی کنیم. امّا می دانیم که این طرز تشریح جبری[۱۶] یا علّی[۱۷] به تصور ماشین گرایانه از طبیعت منجر شد و در تمامی حوزه‌های معرفت ــ جدا از این که معرفت چگونه به دست آمده است ــ کمال مطلوب توضیح علمی در تمامی حوزه‌های معرفت گردید. پس در این خصوص، این که مطالعهٔ حوزه‌های گسترده‌تر تجارب فیزیکی، لزوم بررسی دقیقتر مسئلهٔ مشاهده را آشکار ساخته است، اهمیت دارد.

مکانیك کلاسیك در حوزهٔ وسیع کاربرد خود، تا این حد تشریحی عینی به دست می‌دهد که بر استفادهٔ درست از تصورات و افکاری متکی است که مربوط به رویداهای زندگی روزمره می شود. اما تعمیم‌های خیالی مکانیك نیوتنی، هر قدرهم

13. Galileis 14. Ursache 15. Wirkung

16. deterministische Beschreibung 17. kausale Beschreibung

که گو یا به نظر بیاید، در عمل از حوزهٔ تجربی، که مفاهیم اولیهٔ ما با آن سازگاری دارد بسیار فراتر می‌رفت. بنابراین استفادهٔ مناسب، حتی از مفاهیم زمان و مکان مطلق، از انتشار عملا آنی نور[۱۸]، که به ما امکان می‌دهد تا محل اجسام حول و حوش خود را مستقل از سرعتشان، تعیین، و رویدادها را براساس تواتر زمانی[۱۹] یکتایی مرتب کنیم، جدایی ناپذیر است. اما کوشش به منظور گسترش نظریه‌ای هماهنگ[۲۰] برای پدیده‌های الکترومغناطیسی و نوری نشان داد که ناظرهایی که با سرعت زیاد نسبت به یکدیگر جابه‌جا می‌شوند به شیوه‌های مختلف به رویدادها نظم و ترتیب می‌دهند. چنین ناظرهایی نه تنها دربارهٔ شکل[۲۱] و محل[۲۲] اجسام صلب[۲۳] نظرات مختلف دارند، بلکه حتی رویدادهایی که در مکانهای مختلفی و به پنداشت ناظری همزمان رخ می‌دهد، ممکن است از نظر ناظر دیگری غیر همزمان باشد.

در تحقیق در این باره که توصیف پدیده‌های فیزیکی تا چه حد بستگی به دیدگاه ناظر دارد، فیزیکدانها بی آن که به ابهام و معضلی برخورد کنند، رهنمودی[۲۴] پرارزش در کشف قوانین کلی فیزیکی برای هر ناظری را یافتند. اینشتین، با حفظ فکر جبرگرایی، و فقط با اتکا بر روابط میان اندازه‌گیریهای بدون ابهام، که سرانجام به اقتران[۲۵] رویدادها مربوط می‌شود، موفق به تجدید بنای فیزیك کلاسیك و عمومیّت بخشیدن بدان گردید، و بدین ترتیب به تصور ما از جهان وحدتی بخشید که از همهٔ انتظارات قبلی ما فراتر می‌رفت. در نظریهٔ نسبیت عام، توصیف براساس متریك مکانی ـ زمانی[۲۶] چهاربعدی[۲۷] خمیده است، متریکی که به خودی خود، هم اثرات جاذبه[۲۸] را توضیح می‌دهد و هم نقش خاص سرعت علائم نوری[۲۹] را، که بر کاربرد سازگار مفهوم فیزیکی سرعت حد بالایی تعیین می‌کند. وضع این چنین تجریدات ریاضی نامعمول، اما کاملا مشخص، نه تنها هیچ گونه ابهامی را ایجاب نمی‌کند، بلکه بالعکس به روشنی نشان می‌دهد که چگونه گسترش

18. Ausbreitung des Lichtes 19. Zeitliche Reihenfolge 20. Konsistent
21. Form 22. Lage 23. feste Körper 24. Richtschnur
25. Koinzidenz 26. raumzeitliche Metrik 27. Vierdimensional
28. Gravitationseffekte 29. Lichtsignale

چارچوب فکری، ابزار مناسبی برای حذف عناصر ذهنی در اختیار ما می گذارد و به پهنهٔ تشریح عینی وسعت می بخشد.

جنبه‌های جدید و غیر منتظرهٔ مسئلهٔ مشاهده با اکتشاف ساختمان اتمی ماده خود را نشان داد. همچنان که می دانیم، فکر تقسیم‌پذیری محدود[۳۰] ماده از دوران باستان است. این نظر بدین منظور وضع شد تا بتوان ثبات خواص مشخصهٔ اجسام را، علی‌رغم کثرت[۳۱] پدیده‌های طبیعی، توضیح داد. این نظرات را، حتی تا امروز، همچون فرضیاتی می پنداشتیم، زیرا به نظر می رسید که اثبات این نظرات به طور مستقیم از طریق مشاهده امکان‌پذیر نیست. علّت این امر بی‌دقتی[۳۲] اندامهای حسی[۳۳] و ابزارهای اندازه‌گیری است که خود از اتم‌های بی شمار تشکیل می گردد. اما با پیشرفتهای فیزیك و شیمی در قرون اخیر، تصورات ما از اتم، هر روز خود را بارورتر نشان داد. کاربرد مستقیم مکانیك کلاسیك در مورد برهمکنش اتم‌ها و ملکول‌هایی که دائماً در حال حرکت پیوسته است، به خصوص امکان فهم کلی اصول ترمودینامیك را میسر کرد.

در قرن حاضر نیز، مطالعهٔ خواص به تازگی مکشوف مادّه، همچون رادیواکتیویتهٔ طبیعی، اصول نظریهٔ اتمی را به شیوه‌ای قابل قبول تأیید کرده است. به خصوص ساخت دستگاههای تقویت کننده به ما امکان داد تا به مطالعهٔ پدیده‌های اساساً وابسته به اتمهای منفرد بپردازیم و حتی شناخت گسترده‌تری از ساختمان نظامهای اتمی تحصیل کنیم. اولین گام در این راه، شناخت الکترون به عنوان جزء مشترك تمامی مواد بود. کشف هستهٔ اتم توسط راترفورد و این که هسته در حجمی بسیار کوچك و تقریباً تمامی وزن اتم را در خود دارد، تصور ما را از ساختمان اتم کاملتر کرد. تغییرناپذیری خواص عناصر، در فرایندهای فیزیکی و شیمیایی معمول را هم مستقیماً این واقعیّت توضیح می دهد که در این فرایندها، هر چند اتصال[۳۴] الکترونها با یکدیگر ممکن است عمیقاً تغییر یابد، ولی هستهٔ اتمی دست نخورده باقی می‌ماند. بدین طریق راترفورد با ملاحظهٔ تبدیلات هستهٔ اتمی تحت تأثیر

30. begrenzte Teilbarkeit 31. Vielfältigkeit 32. Grobheit

33. Sinnesorgane 34. Bindung

عوامل نیرومندتر از هسته، میدان جدیدی از تحقیق گشود که بدان عموماً کیمیاگری جدید[۳۵] اطلاق می شود، کیمیاگریی که، چنانچه می دانیم، آزاد شدن انرژی عظیم محبوس در هسته‌های اتمی را ممکن ساخت.

اگر چه الگوی سادهٔ اتمی، بسیاری از خواص اساسی ماده را توضیح داد، امّا از همان ابتدا روشن بود که تصورات کلاسیك مکانیك و الکترومغناطیس نمی تواند به شایستگی پایداری ذاتی ساختارهای اتمی را ـ آن چنان که در خواص ویژهٔ عناصر بروزمی کند ـ توضیح دهد. کلید حل این مسئله را پلانك با کشف کوانتوم عام کنش به دست داد. وی در اولین سال آغاز این قرن، با تحلیل عمیق خود از قوانین تابش حرارتی[۳۶]، به کشفی نایل آمد که خود خصلت کلی از فرایندهای اتمی را افشا کرد که با تصور ماشین گرایانه از طبیعت بسیار بیگانه است. همین کشف در عین حال نشان داد که نظریه‌های فیزیکی، تعمیمهای خیالی است که تنها به کار تشریح پدیده هایی می آید که در تحلیل آنها تمامی اثرات موردنظر به حدی بزرگ باشد که بتوان از کوانتوم کنش صرف نظر کرد. در حالی که در پدیده های با مقیاس معمول، این شرط به شایستگی برقرار است، در پدیده‌های اتمی بالعکس به قانونمندیهایی[۳۷] از نوع جدید برخورد می کنیم که هیچ گونه تصور علی نمی تواند آنها را تشریح کند.

تعمیم معقولی از فیزیك کلاسیك، که از طرفی به وجود کوانتوم توجه داشته باشد، و از طرف دیگر به حفظ تغییر بی ابهام شواهد تجربی دربارهٔ جرم ماندی[۳۸] و بار الکتریکی الکترون و هسته بپردازد، کاری بس دشوار بود. اما، با کوششهایی که نسلی از نظریه‌پردازان فیزیك بدین کار مصروف کردند، تشریح منتظم، ودر نهایت جامع پدیده‌های اتمی تدریجاً ممکن شد. در این تشریح از یك صورتگرایی ریاضی[۳۹] استفاده می شود که در آن متغیرهای[۴۰] نظریه‌های فیزیك کلاسیك را با

35. moderne Alchimie
36. Wärmestrahlungsgesetze
37. Gesetzmässigkeiten
38. träge Masse
39. mathematischer Formalismus
40. Variablen

نمادهای جایگزین می کنند که تابعی ازیك الگوریتم غیر جابه جایی[41] است که خود ثابت پلانك را دربر دارد. این صورتگرایی، به دلیل خصلت ریاضی چنین تجریداتی، امکان تشریح روشن به مفهوم متداول را نمی دهد، بلکه مستقیماً این هدف را دنبال می کند تا بین مشاهدات حاصله در شرایط تجربی کاملا مشخص، روابطی را برقرار سازد. اما از آن جا که فرایندهای کوانتومی منفرد مختلف می تواند در آرایش تجربی مشخصی به وقوع بپیوندد، این روابط طبیعتی ذاتاً آماری دارد.

به کمك صورتگرایی مکانیك کوانتومی موفق شدیم تعداد کثیری از نتایج تجربی مربوط به خواص فیزیکی و شیمیایی ماده را توضیح دهیم. به علاوه، با سازگارسازی این صورتگرایی با مقتضیات تغییرناپذیری[42] نظریه نسبیت، این امکان به وجود آمد تا در میان معارفی که با سرعتی روزافزون در مورد خواص ذرات بنیادی و ساختمان هستهٔ اتمی کسب می کنیم، ایجاد نظم کنیم. علی رغم توانایی اعجاب انگیز مکانیك کوانتومی، اعراض از شیوهٔ معمول توصیف فیزیکی و به خصوص ازفکر جبر گرایی، بسیاری از فیزیکدانها و فیلسوفان را بر این داشت تا از خود سؤال کنند که «آیا این وضع موقتی است، یا این که، در خصوص تشریح عینی، خود را در مقابل مرحله ای قطعی می بینم؟». برای روشن کردن این مسئله لازم شد تا در اصولی که تشریح و فهم تجارب فیزیکی بر آنها استوار است، عمیقاً تجدیدنظر کنیم.

در این خصوص باید قبل از هر چیز توجه داشته باشیم که حتی وقتی پدیده ای از محدودهٔ نظریه‌های فیزیك کلاسیك فراتر رود، تشریح آرایشهای تجربی و ثبت مشاهدات باید به زبانی ساده بیان گردد که با افزودن واژه‌های فنی فیزیك آن را به طرز مناسبی غنی تر کرده باشیم. این خود شرط منطقی روشنی است. زیرا که واژهٔ «تجربه»[43] به وضعیتی احاله داده می شود که بتوان دربارهٔ آن دیگران را از این که چه کرده ایم، وچه یاد گرفته ایم، مطلع کرد. اما اختلاف اساسی، در تحلیل پدیده ها، میان فیزیك کلاسیك و فیزیك کوانتومی این است که در اولی از برهمکنش میان اشیا و ابزارهای اندازه گیری می توان چشم پوشید، یا آنها را جبران کرد در حالی که در

41. Nicht-kommutativer Algorithmus 42. Invarianz 43. Experiment

دومی این اثرات خود جزء تشکیل دهندهٔ پدیده ها است. بدین سبب، کلّیت اساسی که جوهر پدیدهٔ کوانتومی است، بیان منطقی خود را در این جا می یابد که قصد تقسیم به جزء آن، ما را مجبور به تحمیل تغییری بر آرایش تجربی می کند که خود مانع بروز پدیدهٔ مورد نظر خواهد شد.

به ویژه، از آن جا که امکان کنترل جداگانهٔ برهمکنش اشیای اتمی با ابزارهای اندازه گیری، که در تعیین شرایط تجربی به کار رفته، وجود ندارد، بدین امر نیز ناتوانیم تا بدون قید و شرط مختصات مکانی - زمانی را به قوانین دینامیك بقاءِ که تشریح جبری فیزیك کلاسیك بر آن مبتنی است ارتباط دهیم. هرگونه استفادهٔ بی ابهام از مفاهیم زمان و مکان منجر به رجوع به آرایش تجربی یی می شود که در برگیرندهٔ انتقال غیرقابل مهار تکان و انرژی بر روی ابزارهای اندازه گیری است. این ابزارهای اندازه گیری می تواند خط کشهای مدرج[44] ثابت یا ساعتهای هم زمان[45] باشد که برای تعیین چارچوب مرجع به کار می رود. تشریح پدیده هایی هم، که به وسیلهٔ قوانین بقای تکان و انرژی مشخص می شود، بالعکس ایجاب می کند که از جزئیات مختصات مکانی - زمانی چشم پوشی کنیم. این حالات بیان کمّی خود را در روابط عدم قطعیت هایزنبرگ می یابد که آزادی متقابل در تعیین متغیرهای سینماتیکی و دینامیکی، به منظور تعریف حالت یك سیستم فیزیکی را، نشان می دهد. چنین روابطی، با در نظر گرفتن صورتگرایی مکانیك کوانتومی نمی تواند به کمك خواصی از اشیا توضیح داده شود که از تصورات کلاسیك به عاریت گرفته شده باشد. در این جا بیشتر این واقعیت مطرح است که میان شرایطی، که امکان استفادهٔ روشن از مفاهیم زمان و مکان را می دهد از یك طرف، و از طرف دیگر، قوانین دینامیك بقا تباینی موجود است.

در این خصوص گاهی از «اختلال[46] پدیده در اثر مشاهده» یا «ایجاد خواص فیزیکی در اشیای اتمی از طریق اندازه گیری» صحبت می شود. چنین عباراتی می تواند ایجاد ابهام کند، زیرا که در این جا واژه هایی همچون پدیده و مشاهده مانند واژه های خاصیت و اندازه، به شیوه ای به کار رفته است که با زبان معمول و تعریف

44. Masstäbe 45. synchronisierte Uhren 46. Störung

مشخص این واژه‌ها موافقت ندارد. نتیجتاً صحیح است که واژهٔ پدیده را تنها در مورد مشاهداتی به کار گیریم که در شرایط کاملا مشخص به دست آمده باشد و توصیف آن دربرگیرندهٔ آرایش تجربی هم باشد. با چنین مجموعه‌ای از اصطلاحات، مسئلهٔ مشاهده در فیزیک کوانتومی دشواری خاص خود را دیگر دارا نیست. به علاوه، چنین تعریفی به ما یادآور می شود که هر پدیدهٔ اتمی قطعاً بسته[۴۷] است. این بدان معنی است که مشاهدهٔ پدیده مبتنی بر ثبت[۴۸] اطلاعاتی است که به کمک دستگاههای تقویتی[۴۹] با اثرات بازگشت ناپذیر[۵۰] به دست آمده است؛ مانند اندازه‌گیری اثرات به جای مانده بر روی صفحهٔ عکاسی به سبب نفوذ الکترون ها در مخلوط[۵۱] موجود در روی صفحه. باید توجه داشت که صورتگرایی مکانیک کوانتومی تنها به پدیده‌های بسته از این نوع اعمال می شود. همچنین از این لحاظ این صورتگرایی تعمیمی منطقی از فیزیک کلاسیک است که در آن هر مرحله‌ای در جریان وقوع رویدادها می تواند از طریق مقادیر قابل اندازه‌گیری تشریح شود.

روشن است که ما آزادی در اجرای تجربه را، که مورد قبول فیزیک کلاسیک است، حفظ می کنیم. این آزادی مطابقت دارد با انتخاب آزاد آرایش های تجربی، همان چیزی که ساختمان ریاضی صورتگرایی مکانیک کوانتومی ارائه می دهد. این واقعیت که چند آرایش تجربی مشابه ممکن است نتایج مختلفی به دست دهد، گاهی مجازاً به معنای «انتخاب آزاد طبیعت»[۵۲] میان امکانات متعدد بیان شده است. لازم به تأکید نیست که چنین عباراتی چیزی به معنی نسبت شخصیت به طبیعت نیست، بلکه تنها عدم امکان صدور دستور در مورد جریان پدیده‌ای بسته و تقسیم ناپذیر براساس روشهای متداول را خاطرنشان می سازد. در این جا تشریح منطقی باید محدود به برآورد احتمال نسبی وقوع پدیده‌های مختلف منفرد گردد که در شرایط تجربی مشخصی می تواند پدیدار شود. بدین ترتیب مکانیک کوانتومی نشان‌دهندهٔ تعمیمی منطقی از تشریح مکانیکی جبری[۵۳] است که بدان می توان چون حد مجانبی[۵۴] از

47. abgeschlossen 48. Aufzeichnung 49. Verstärkungsapparate
50. irreversible Wirkungen 51. Emulsion 52. freie Wahl der Natur
53. deterministische mechanische Beschreibung 54. asymptotisch

مکانیك کوانتومی نظر داشت، به شرط آن که پدیده‌های فیزیکی درمقیاسی آن چنان بزرگ باشد که از کوانتوم کنش بتوان چشم‌پوشی کرد.

یکی از بارزترین مشخصات فیزیك اتمی، وجود رابطهٔ جدیدی بین پدیده‌های مشاهده شده در شرایط تجربی‌یی است که تشریح آنها به مفاهیم اولیهٔ متفاوتی نیاز دارد. در تشریح جریان پدیده‌های اتمی به کمك مفاهیم کلاسیك، هر چند که این تجارب متناقض با یکدیگر به نظر رسد، باید بدانها، بدین معنی که به طور یکسان شناختی اساسی در مورد سیستم‌های اتمی را نشان می‌دهد، و این شناخت را در تمامیّت آن جویا است، مکمل یکدیگر دانست. مفهوم مکملی به هیچ وجه به معنای دست کشیدن ازمقام خود به عنوان ناظر خارجی نیست، بلکه بیشتر به معنای بیان منطقی موقعیت ما در مورد تشریح عینی در این زمینهٔ تجربی است.با قبول این واقعیت که برهمکنش میان ابزارهای اندازه‌گیری و سیستم‌های فیزیکی مورد مطالعه خود جزء تشکیل دهندهٔ پدیدهٔ کوانتومی است، نه تنها محدودیت غیرمترقبهٔ مفهوم مکانیکی طبیعت را، که خواص کاملا معینی به خود سیستم‌های فیزیکی نسبت می‌دهد، کشف کردیم، بلکه مجبور شدیم، در نظم‌دادن به تجربیات خود، توجه مخصوصی به مسئلهٔ مشاهده معطوف کنیم.

وقتی به این سؤال مورد مناقشه بازمی گردیم که چه انتظاری از توضیح فیزیکی می‌رود، نباید فراموش کنیم که مکانیك کلاسیك بدواً یافتن علت برای حرکت یکنواخت[۵۵] را منتفی می‌داند؛ و به علاوه، نظریه نسبیت به ما می‌آموزد که دلایل تغییرناپذیری و هم‌ارزی[۵۶] باید همچون مقولاتی از تشریح نامتناقض و منطقی مورد بحث قرار گیرد. به همین منوال، در تشریح مکملی فیزیك کوانتومی با تعمیم منطقی جدیدی سروکار داریم که امکان گنجاندن قوانینی را در خود می‌دهد که در تشریح خواص اساسی ماده قطعاً موثر است، اما از حدود تشریح جبری فراتر می‌رود. تاریخ علم فیزیك به ما نشان می‌دهد که چگونه کاوش در حوزه‌های تجربی وسیعتر محدودیتهای غیرمنتظرهٔ مفاهیم معمول را افشا می‌کند وراههای جدیدی به منظور تجدید بنای نظم منطقی در مقابل ما می‌گشاید. همچنان که بعد از این نشان

55. gleichförmige Bewegung 56. Äquivalenz

خواهیم داد، تعلیمات معرفتشناختی، که پیشرفت فیزیك اتمی بیانگر آن است، یادآور موقعیتهای مشابه دیگری است که در ورای مرزهای فیزیك به هنگام تشریح تجارب و ایجاد نظم در میان آنها مطرح است. [این تعلیمات بدین طریق به ما امکان می دهد تا خصلتهای مشترکی را بیابیم که به ما در کار تحقق در وحدت شناخت کمك می کند.*]

وقتی حوزهٔ خاص فیزیك را ترك می کنیم، به اولین مسئله‌ای که برخورد می کنیم، مسئلهٔ مقام ارگانیسم های زنده در تشریح پدیده های طبیعی است. در ابتدا میان جاندار و بی جان تمایز دقیقی قایل نبودیم. همچنان که می‌دانیم، این ارسطو بود که با خاطرنشان ساختن کلیت ارگانیسم‌های فردی به مخالفت با فکر اتم‌گرایان برخاست و حتی در بحث خود درbارهٔ اصول مکانیك مفاهیمی چون غایت[57] وقوه[58] را حفظ کرد. اما کشفیات مهم در کالبدشناسی و فیزیولوژی در عصر رنسانس، و به خصوص پیدایش مکانیك کلاسیك، که در تشریح جبری از غایت ذکری نمی کند، موجب پیدایش تصوری مطلقاً مکانیستی از طبیعت شد. بدین ترتیب توانستیم بسیاری از وظایف حیاتی را از طریق خواص فیزیکی - شیمیایی ماده، که به کمك یك تصور اتمی ساده به درستی روشن شده بود، توضیح دهیم. درست است که ساختمان و طرز کار ارگانیسم‌ها واجد نظمی در فرایندهای اتمی است که گاه ظاهراً به دشواری با قوانین ترمودینامیك سازگار بود، ودر نتیجه گرایش پیوسته به سوی یك بی نظمی در میان اتمهای متشکل یك سیستم فیزیکی بسته را ایجاب می کند، اما وقتی این مورد را به حساب می آوریم که انرژی آزاد لازم برای بقا و رشد را محیط پیوسته از طریق تغذیه و تنفس به ارگانیسم می دهد، به روشنی دیده می شود که دیگر به هیچ وجه صحبت از نقض قوانین کلی فیزیکی نمی تواند در میان باشد.

در دهه‌های اخیر، در شناخت ساختمان و طرزکار ارگانیسم ها پیشرفتهای زیادی کرده‌ایم و به خصوص این مسئله روشن شد که قانونمندیهای کوانتومی در این جا نقش اساسی دارد. پایداری قابل ملاحظهٔ ساختمانهای ملکولی بسیار پیچیده، که مسئولیت خصوصیات ارثی[59] یك تیره[60] در سلول ها به عهدهٔ آنها است، بر همین

* فقط در ترجمهٔ فرانسه این جمله ضبط شده است.

57. Zweck 58. Potenz 59. Erbeigenschaften 60. Art

قوانین متکی است؛ همچنین، بررسی در مورد پدیدهٔ جهش[۶۱] ـــ که با قراردادن ارگانیسم‌ها در مقابل تابش نافذ به وقوع می پیوندد ـــ نشان داد که قوانین آماری مکانیك کوانتومی در این جا هم کاربردی قابل توجه دارد. علاوه بر اینها، ثابت شد که حساسیت اعضای مدرکه[۶۲]، که تمامیت[۶۳] ارگانیسم بدان بستگی دارد، غالباً به حد مرتبهٔ بزرگی[۶۴] فرایندهای کوانتومی منفرد می رسد، و مکانیسم‌های تقویت، به خصوص در انتقال[۶۵] پیامهای عصبی[۶۶]، نقش مهمی دارد. تمامی این تکامل ـــ هر چند به شکلی کاملا جدید ـــ دوباره ما رابه تصور مکانیکی از مسائل زیستی بازگرداند. ولی همزمان با این بازگشت، این سؤال با حدت مطرح شد که آیا مقایسهٔ ارگانیسم با سیستم‌های پیچیده، مانند تأسیسات صنعتی نوین یا ماشین‌های حسابگر الکترونیکی، اصول لازم بر تشریح عینی کلیتهایی، همچون ارگانیسم‌های زنده را، که خود ـ تنظیم اند، ارائه می دهد.

در نگرشی دوباره به تعلیمات معرفتشناختی عمومی، که فیزیك اتمی به ما ارائه داده، باید پیش ازهرچیز به خاطر بیاوریم که فرایندهای بستهٔ مورد مطالعه در فیزیك کوانتومی با وظایف زیستی، که حفظ آنها به تبادل مدام ماده و انرژی میان ارگانیسم و محیط نیازدارد، مستقیماً قابل مقایسه نیست. به علاوه، اجرای تجربه‌ای که امکان مهار این وظایف را تا حدی دهد که بتوان تشریحی کاملا مشخص به زبان فیزیك از این وظایف به دست داد، تجلی آزاد حیات را ازبین خواهد برد. درست همین واقعیت نظری را دربارهٔ مسأله حیات پیشنهاد می کند که یافتن حد تعادل میان دیدگاه مکانیستی[۶۷] و غایی[۶۸] را ممکن می کند. همچنان که کوانتوم کنش در تشریح پدیده‌های اتمی، چون عنصری به نظر می‌رسد که توضیحش نه ممکن است و نه ضروری، به همین منوال، به مفهوم حیات نیز باید در علم زیست شناسی همچون مفهومی اساسی نظر داشت. دراین علم، وجود و تکامل ارگانیسم های زنده، همچون

61. Mutation　62. Wahrnehmungsorgane　63. Integrität
64. Größenordnung　65.Übertragung　66. H. Nervensignale
67. Mechanistischer Gesichtpunkt　68. finalistischer Gesichtpunkt

تجلی امکانات طبیعت ــ که ما خود بدان تعلق داریم ــ به نظر می رسد و نه همچون نتایج آزمایشهایی که ما خود آنها را انجام می دهیم. باید فی الواقع بپذیریم که شرایط تشریح عینی، دست کم در جهتی که این شرایط متوجه آن است، بدین دلیل که در زیست شناسی شیوهٔ تشریح مکملی را به کار می گیریم، در این جا جمع است، زیرا که در این شیوه دلایل از طرفی بر تمامی منابع فیزیك و شیمی متکی است و از طرف دیگر بر مفاهیمی که از گسترهٔ علوم فراتر می رود و مستقیماً به تمامیّت ارگانیسم ها مربوط می شود. نکتهٔ اساسی این است که تنها چشم پوشی از توضیح حیات، به معنی متداول این واژه، به ما امکان می دهد تا ویژگیهای آن را به حساب بیاوریم.

مسلم است که در زیست شناسی نیز، به‌مثابهٔ فیزیك، ما مقام خود را به عنوان ناظر خارجی حفظ خواهیم کرد، و تنها اختلاف در شرایط لازم بر جمع منطقی[69] تجارب وجود دارد. همین موضوع در مطالعهٔ رفتار غریزی[70] و مشروط[71] حیوانات و انسان نیز معتبر است، زیرا که تشریح رفتار آنها مستقیماً به کمك مفاهیم روانشناسی صورت می گیرد. صرف نظر کردن از این مفاهیم، حتی از دیدگاهی رفتارگرایانه[72]، به دشواری ممکن است، و همین که خود را در مقابل رفتاری آن چنان پیچیده بیابیم که تشریح آن بالقوه مطالعهٔ شعور ارگانیسم فردی را ایجاب کند، مفهوم شعور نیز باید در نظر گرفته شود. در این جا با موارد استفاده ای از واژهٔ غریزه و عقل سر و کار داریم که متباین با یکدیگر است؛ این امر در شدت سرکوب رفتار غریزی در جوامع بشری قابل رویت است. اگر چه برای ما مشکل است که در توصیف وضعیت افکار خود ناظری بی طرف باقی بمانیم، با این وجود ممکن است، حتی در روانشناسی انسانی، شرایط تشریح عینی را وسیعاً حفظ کنیم. در این مورد قابل توجه است که در حالی که در مراحل اولیهٔ تکامل فیزیك به خصلتهایی از حوادث زندگی روزمره اتکا می کردیم که امکان تشریح علّی ساده ای را می داد، در تشریح زندگی فکریمان از همان آغاز پیدایش زبان، اساساً تشریح مکملی را به کار گرفته ایم. حقیقت این است

69. logische Zusammenfassung
70. angeborenes Verhalten
71. bedingtes Verhalten
72. behaviouristische Betrachtungsweise

که مجموعهٔ غنی اصطلاحات که برای مبادلهٔ اطلاعات مناسبت دارد، به زنجیری نامقطع از رویدادها اشاره نمی کند، بلکه بیشتر به کار تشریح تجاربی متباین با یکدیگر می آید که مشخصهٔ آنها خط فاصلهای[۷۳] مختلفی است که بین محتوی[۷۴]، که توجه ما بدان متمرکز است، و سابقهٔ ذهنی، که «خود ما»[۷۵] می نامیم، وجود دارد.

مثالی خصوصاً بارز در این زمینه رابطهٔ موجود میان موقعیتهایی است که ما در آن میان دربارهٔ انگیزه[۷۶] اعمال خود می اندیشیم، موقعیتهایی که در آن، خواست اراده را احساس می کنیم. در زندگی روزانه، این تغییر حد فاصل میان این دو کم و بیش مقبول واقع شده، امّا در روانپزشکی عوارضی به نام «اختلالات خودها»[۷۷] وجود دارد که می تواند به انقسام شخصیت[۷۸] منتهی گردد. استفاده از خصلتهایی به ظاهر متضاد که در پیوند با وجوه متساویاً شعور بشری است، مشابهت قابل توجهی با موقعیت ما در فیزیك اتمی دارد که در آن تعریف پدیده های مکمل نیاز به مفاهیم اولیهٔ مختلف دارد. این واقعیت که حتی واژه «آگاه»[۷۹] به تجاربی مرتبط است که می تواند در حافظه نگهداری شود، لزوم مقایسهٔ میان تجارب آگاه و مشاهدات فیزیکی را خاطرنشان می سازد. در چنین مقایسه‌ای عدم امکان در دادن محتوی کاملا مشخص به ناخودآگاهی[۸۰]، با عدم امکان ارائهٔ یك تفسیر روشن از صورتگرایی مکانیك کوانتومی مطابقت دارد. در همین زمینه می توان گفت که معالجهٔ «نوروزها»[۸۱] از طریق روانکاوی، قبل از این که به معنای کمك به بیمار در برآورد اعماق ناخودآگاهی باشد، برقراری مجدد تعادل در محتوی حافظه از طریق تجربهٔ آگاه و جدید را معنی می دهد.

از دیدگاه زیست شناسی، ویژگیهای پدیده های روانی را می توان تنها چنین تفسیر کرد که هرگونه تجربهٔ آگاه، در ارگانیسم اثری از خود باقی می گذارد که به معنای ضبط بازگشت ناپذیر[۸۲] نتایج تمامی فرایندها در سیستم اعصاب[۸۳] است، به

73. Trennungsschnitte 74. Inhalt 75. Wir-selbst
76. Beweggrund 77. Verwirrung der iche
78. Spaltung der Persönlichkeit 79. bewußt 80. Unterbewußtsein
81. Neurosen 82. irreversible Registrierung 83. Nervensystem

طوری که از این فرایندها به کمك مفاهیم مکانیستی به دشواری می توان تحلیلی جامع به دست داد و یا با درون نگری به تحلیل آنها پرداخت. اثرات برجای مانده، که متکی بر برهمکنش سلولهای عصبی بی شمار است، اساساً با ساختمان همیشگی سلولهای فردی ارگانیسم، که تکثیر آنها به صورت ژنتیکی[۸۴] است، تفاوت دارد. در صورتی که ازدیدگاه غایت گرایانه علاوه بر سودمندی اثرات بازگشت ناپذیر و تاثیر آنها بر واکنشهای ما در مقابل محرکهای خارجی، باید اهمیت این واقعیات را نیز یادآور شد که نسلهای بعدی حامل تجارب شخصی یك فرد نیست، بلکه متکی بر تکثیر خواصی از ارگانیسم است که خود را در تحصیل و استفاده از تجارب، سودمند نشان داده باشد. درصورتی که بخواهیم این تحقیقات را ادامه دهیم، مسلم است که با مشکلات روبه تزایدی روبه‌رو خواهیم شد. روشن است که با نزدیك شدن هر چه بیشتر ما با وجوهی از ارگانیسم‌های زنده که در پیوند با آگاهی است، مفاهیم سادهٔ فیزیکی به تدریج قابلیت اعمال مستقیم خود را از دست می دهد.

به منظور روشن کردن این استدلال، مسئلهٔ قدیمی آزادی اراده[۸۵] را به اختصار یادآوری می کنیم. بنابر آنچه گفتیم، واژهٔ اراده در تشریح جامع پدیده‌های روانی ضروری است، اما سؤالی که در این جا مطرح می شود این است که تا چه حد می توانیم از آزادی عمل در حدود امکانات خود صحبت کنیم. بدیهی است که از دیدگاه جبری مطلق[۸۶]، چنین آزادی یی مسلماً منتفی است. اما تعلیمات کلی فیزیك اتمی و به خصوص تعلیماتی که در پیوند با گستره متناهی تشریح مکانیستی پدیده‌های زیستی است، این فرض را می پذیرد که توانایی ارگانیسم‌ها در سازش[۸۷] با محیط[۸۸] باید توانایی انتخاب مناسبترین ابزارها به منظور سازگاری با محیط را نیز در بر گیرد. با توجه به این که پاسخ به چنین سؤالاتی بر اساس فیزیك محض، غیرممکن است، قبول این نکته که تجارب ذهنی بتواند این مسئله را بهتر روشن سازد، مهم است. مثلا، برای پیش بینی این که شخصی در موقعیتی معین، تصمیم به

84. genetische Fortpflänzung
85. freier Wille
86. rein deterministischer Gesichtpunkt
87. Anpassung
88. Umgebung

چه کاری خواهد گرفت، نه تنها نخست سعی خواهیم کرد سوابق ذهنی اورا بیابیم ـــ مثلا زندگی گذشته اورا با توجه به تأثیراتی که شخصیت اومتأثر ازآنها است ـــ بلکه در آخرین تحلیل کوشش خواهیم کرد تا خود را در موقعیت او بیانگاریم. روشن است که نمی توان گفت کسی کاری می کند، چون گمان می کند به انجام دادن آن قادراست، ویا این که چون میل به انجام دادن آن را دارد. اما این را هم نمی توان انکار کرد که همگی ما این احساس را داریم که از شرایط موجود به بهترین وجهی می توانیم استفاده کنیم. ازدیدگاه تشریح عینی، بدین مورد نه چیزی می توان افزود و نه چیزی از آن کاست، ودرست به همین معنی است که حق داریم چه عملا وچه منطقاً از «آزادی اراده» به طریقی صحبت کنیم، که واژه هایی چون «مسئولیت» و «امید» جایی برای خود بیابد، اگر چه هر یك از این واژه ها به طور جداگانه همان حد غیرقابل تعریف است که دیگر واژه هایی که انسانها در مراودات خود با یکدیگر به کار می گیرند.

این گونه ملاحظات توجه ما را به نتایج تعلیمات معرفتشناختی که از پیشرفت دانش فیزیکی درباره مقام خود به عنوان ناظر آموخته ایم، جلب می کند. به ازای چشم پوشیدن از آنچه که معمولا از توضیح علمی انتظار می رود، به ابزارهای منطقی یی دست یافتیم که به ما امکان ایجاد نظم در زمینه های تجربی وسیعتر را می دهد، و ما را ناچار می سازد که در ایجاد حد فاصل میان، ذهن[۸۹] و عین[۹۰] دقت کنیم. اما از آن جا که در متون فلسفی گاهی صحبت از درجات مختلف عینیت و ذهنیت ویا حتی واقعیت می شود، در این جا باید خاطرنشان سازیم که برای مفهوم عامل معرفت غایی[۹۱]، مانند مفاهیم دیگری چون رئالیسم و ایدآلیسم، در تشریح عینی ـــ آن چنان که ما به تعریف آن پرداختیم ـــ جایی وجود ندارد. این امر با این حال محدودیتی را بر دامنهٔ مطالعات ما تحمیل نمی کند.

حال که به بحث دربارهٔ برخی از مسائل علمی پرداختیم که با وحدت معرفت ارتباط دارد، به مسئلهٔ دیگری که در دستور کار ما قرار دارد می پردازیم. این مسئله چنین است: آیا حقایق دیگری، مانند حقیقت شعری، معنوی ویا حقیقت فرهنگی

89. Subjekt   90. Objekt   91. letztes Subjekt

متمایز از حقیقت علمی وجود دارد؟ با همهٔ احتیاطهایی که اهل علم، در پرداختن به چنین مسائلی به خرج می‌دهد، بر این کوششم، تا با توجه به نحوهٔ برخوردی که تاکنون داشته‌ام به این مسئله نیز اشاره کنم. قبول این که میان ابزارهای بیان وحوزهٔ تجربی، که ما با آن سر وکار داریم، رابطه‌ای وجود دارد، ما را مستقیماً در مقابل رابطهٔ میان هنر و علم قرار می‌دهد. این که هنر ما را غنی تر می کند، بدین دلیل است که می تواند نواهایی را به گوش ما برساند که در تحلیل نظاممند[92] نمی گنجد. می توان گفت که ادبیات، نقاشی وموسیقی تشکیل دنباله‌ای[93] از شیوه‌های بیان را می دهد که بیش از پیش از هر گونه تعریفی گریزان است؛ گریزی که خود مشخصه‌ای از مبادلهٔ اطلاعات علمی است، و به شعور، میدان عمل گسترده‌تری می‌دهد. این هدف، به خصوص در هنر شعر، از طریق ترکیب کلماتی که در ارتباط با موقعیتهای متغیر ناظر عینی است، و بدین طریق جنبه‌های متعدد تجارب بشری را به یکدیگر احساساً پیوند می‌دهد، به دست می آید.

بی آن که بخواهیم الهاماتی را که لازمه هر اثر هنری است نادیده بگیریم وبدون آن که قصد بی حرمتی داشته باشیم، می توانیم یادآوری کنیم که هنرمند حتی در اوج خلق اثر هنری خود، بر بنیانی بشری، که میان همهٔ ما مشترك است، قرار دارد. به خصوص، باید توجه داشته باشیم که واژه ای چون بدیهه گویی[94]، که هنگام صحبت از اکتسابهای هنری به آسانی به زبان می آید، خود خصلت اساسی هر گونه تبادل فکری را خاطر نشان می سازد. اگرچه در محاورات معمول، عباراتی که به کار می گیریم تا فکر خودرا بیان کنیم، کم وبیش ناآگاهانه است، به هنگام نوشتن نیز، از آن جا که فراغت بررسی مجدد هر واژه را داریم، تصمیم نهایی در این که واژه‌ای را باقی نگذاریم ویا آن را اصلاح کنیم، خود اساساً به معنای نوعی بدیهه‌گویی است. توازن میان شوخی و جدی، که مشخصهٔ هر اثر هنری موفق است، خود یادآور جنبه‌های مکملی است که در بازی کودکان به چشم می خورد و بزرگسالان نیز به همان اندازه بدان علاقمندند. مثلا اگر تلاش ما بر این باشد که همواره جدی حرف بزنیم، با این نظر مواجه خواهیم شد که حرفهایمان برای حضار وخودما خسته کننده

92. systematische Analyse

93. Folge

94. Improvisation

شود. اما اگر بخواهیم همهٔ حرفها را به شوخی بگذرانیم، خود و دیگران را در وضع روحی مأیوس کننده‌ای قرار خواهیم داد که یادآور مضحکه‌های «شکسپیری» است.

در مقایسهٔ میان علم و هنر، طبیعتاً نباید فراموش کنیم که در علم با کوششهای منظمی به منظور وسعت بخشیدن به تجارب خود و گسترش مفاهیم مناسب برای درک آنها سروکار داریم. همچنان که در ساختمان یك خانه، آجرها را یکی بعد از دیگری حمل می کنیم، و کنار یکدیگر قرار می‌دهیم، در هنر بالعکس بیشتر با کوششهای فردیی مواجه هستیم که این قصد را دارد تا احساسات ما را، که یادآور کلّی بودن موقعیت ما است، برانگیزد. در این جا به نقطه‌ای می رسیم که مسئلهٔ وحدت معرفت، مانند واژه «حقیقت»، مبهم می شود. حتی وقتی که صحبت از ارزش های معنوی و فرهنگی می کنیم، به مسائل معرفتشناختیی بازمی گردیم که از طرفی در ارتباط با تعادل میان آرزوهای مادر به دست آوردن دیدی جامع از زندگی با جنبه‌های مختلف آن است، و از طرف دیگر، در ارتباط با امکانات ما در بیان، به شیوه‌ای که منطقاً سازگار باشد.

در مورد رابطهٔ میان علم ودین، باید گفت که علم، که سعی بر گسترش روشهایی کلی دارد تا به تجارب مشترك انسانها نظم بخشد، و دین، که از این خواست سرچشمه گرفته است تا به تصور ما از جهان و روابط اجتماعی ما در درون جوامع بشری هماهنگی دهد، اساساً نقاط شروع متفاوتی دارد. در هر مذهبی مجموعهٔ آگاهیهای جامعه در چارچوب کلی آن قرار داشت که محتوی اصلی آن ، یعنی ارزشها و آرمانهای آن جامعه، در نیایشها و عبادات به زبان می آمد. بدین سبب است که رابطهٔ جدایی ناپذیر میان چارچوب و محتوی، پیش از این که پیشرفت علوم، درس جهان شناسی[۹۵] نوین و نظریهٔ شناخت جدید با خود به همراه آورده باشد، توجه ما را به دشواری به خود جلب کرده بود. نمونه‌های تاریخی فراوانی دال بر این تکامل وجود دارد، مانند انشقاق[۹۶] عمیق میان علم و دین که در عصر رنسانس در اروپا به هنگام گسترش تصور مکانیستی از طبیعت به وجود آمد. بسیاری از پدیده‌ها

95. Kosmologie 96. Schisma

ــ که تا آن زمان بدانها همچون تجلی مشیّت الهی می نگریستیم، از طرفی همچون نتایج قوانین کلی و تغییرناپذیر طبیعت به نظر رسید، و از طرف دیگر، روشها و نظرگاههای فیزیکی از تأکید بر ارزشها و آرمانهای انسانی، آن چنان که اساساً در دین بدان می پردازند، بسیار دور بود. ثمرهٔ این کار آن شد که مکاتب به اصطلاح تجربی یا انتقادی میان شناخت عینی و اعتقادات ذهنی کم و بیش تفاوت قائل شوند.

گسترش اخیر علوم با تکیه بر لزوم توجه به تفکیك میان ذهن و عین در تشریح بری از ابهام این دو، بنیان جدیدی بر استفاده از واژه‌هایی چون شناخت و اعتقاد فراهم آورد. این امر بیش از هر چیز با قبول محدودیت ذاتی مفهوم علیت، چارچوبی به وجود آورد که در آن، مفهوم تکامل طبیعی، جای فکر تقدیر و سرنوشت کلی را می گیرد. در مورد سازمان جوامع بشری، به خصوص می توانیم خاطرنشان سازیم که تشریح مقام فرد در جامعه، جنبه‌هایی به ویژه مکملی را نشان می دهد که در ارتباط با تغییر مرز میان برآورد ارزشها و سابقهٔ ذهنی یی است که این ارزشها را بر اساس آن داوری می کنیم. هر جامعهٔ پایداری محققاً خواستار میدان عمل صحیحی است که از طریق قوانین تعیین می شود، در عین حال زندگی هر فرد بدون بستگی به خانواده و آشنایان مهمترین ارزشهای خود را از دست خواهد داد. اگر چه پیوند میان عدالت و نوع دوستی[97] هدف مشترك تمامی فرهنگها است، ولی باید پذیرفت در جایی که اجرای دقیق قانون لازم می شود، دیگر جایی برای نوع دوستی باقی نخواهد ماند و بالعکس، خیرخواهی[98] و ترحم[99] می تواند با فکر عدالت در تضاد قرار گیرد. این نکته، که در بسیاری از ادیان در نبردهای اساطیری میان خدایان، مجسم شده است، در فلسفهٔ قدیم شرق چنین بیان شده است که به هنگام جستجو در هماهنگی وجودی خود به عنوان انسان، هرگز نباید فراموش کنیم که ما در عرصهٔ وجود هم بازیگریم و هم تماشاگر.

در مقایسهٔ فرهنگهای مختلف، که بر سنتهای منشعب از رویدادهای تاریخی متکی است، با این اشکال مواجه می شویم که بخواهیم دربارهٔ ارزش فرهنگی یك ملت با استفاده از سنتهای ملت دیگری داوری کنیم. در این مورد رابطهٔ موجود میان

97. Nächstenliebe 98. Wohlwollen 99. Mitleid

فرهنگهای ملی گاهی مکملی توصیف شده است، اگر چه این واژه را نمی‌توان به مفهوم دقیق آن، چنان که در فیزیك اتمی و تحلیل روانشناختی به کار می‌رود، مورد استفاده قرار داد، چرا که در فیزیك اتمی و روان شناسی سر و کار ما با مشخصه‌های تغییر ناپذیر از موقعیت خود ما است. تماس میان ملتها غالباً به ادغام فرهنگهایی منتهی شده است که هر یك عناصر پر ارزش سنن ملی خود را حفظ کرده و به همین دلیل است که تحقیقات مردمشناسی به تدریج تبدیل به منبع مهمی در روشن کردن خصلتهای مشترك در تکامل فرهنگهای مختلف گردیده است. مسئلهٔ وحدت معرفت نتیجتاً در ارتباط نزدیك با کوشش ما است تا از طریق تفاهم وسیله‌ای برای ارتقای فرهنگهای بشری فراهم آوریم.

درخاتمه گمان می کنم که باید از این که در صحبت دربارهٔ موضوعهای کلی، کراراً به حوزهٔ علم فیزیك رجوع کرده ام، پوزش بخواهم. با این وجود کوشش کردم گرایش کلی را خاطر نشان سازم که این روزها از تعلیمات عمیق در این زمینه حاصل شده است و به نظر من در ارتباط با مسئلهٔ وحدت معرفت از اهمیت زیادی برخوردار است. این گرایش را می‌توان مانند کوششی در جهت فهم هماهنگ جنبه‌های دائماً فزایندهٔ موقعیت خود دانست؛ کوششی که متکی بر قبول این واقعیت است که هیچ تجربه‌ای بدون چارچوب منطقی قابل تعریف نیست و هرگونه ناهماهنگی را می‌توان با وسعت بخشیدن مناسب به این چارچوب فکری از میان برداشت.

اتم و شناخت بشری

در تاریخ علم کمتر می توان دوره ای را یافت که قابل مقایسه با قرن ما باشد، زیرا که اکتشاف دنیای اتم پیشرفتهای بزرگی را نصیبمان کرد و بر توانایی استیلای ما بر طبیعت، که ما خود جزئی از آنیم، افزود. با رشد شناخت و فزونی یافتن قدرت ما، مسئولیت ما هم به همان نسبت سنگینتر شد. بدین سبب وفا به وعده وعیدهای عصر اتمی و ازمیان برداشتن خطرات جدید آن تمدن ما را در مقابل آزمایشی[1] بس جدی قرار می دهد که تنها از طریق همکاری میان همهٔ مردم، بر اساس تفاهم کلی در جامعهٔ بشری، می توان از عهدهٔ آن برآمد. در این جا یادآوری این نکته اهمیت دارد که طی قرون و اعصار، علوم، که هیچ حد و مرز جغرافیایی را نمی شناسد، ودستاوردهایش به تمامی بشریت تعلق دارد، انسانها را در کوشش به منظور تحقیق در بنیادهای شناخت، به گرد یکدیگر جمع کرده است. من نیز در این جا می کوشم تا نشان دهم که مطالعهٔ اتم، که نتایج آن حوزه های بسیار وسیعی را در بر می گیرد و پیشرفتهای ما در این زمینه، که از طریق همکاریهای بین المللی میسر شده است، نه فقط به دید ما در زمینه‌ای جدید عمق بیشتری داد، بلکه حتی مسائل کلی شناخت را روشنی تازه ای بخشید.

در نظر اول ممکن است تعجب برانگیز باشد که فیزیک اتمی بتواند واجد تعلیماتی با خصلتی عمومی باشد، اما باید به خاطر آورد که فیزیک اتمی در تمامی

1. Probe

مراحل تکامل خود به مسائل اساسی شناخت توجه داشته است. حتی متفکران دوران باستان، با قبول تقسیم‌پذیری[2] محدود ماده، سعی در یافتن بنیانی داشته‌اند تا بتوانند خصلت استمرار[3] در پدیده‌های طبیعی را، علی‌رغم کثرت[4] و تنوع[5] آنها دریابند. تصورات اتم‌گرایانه اگر چه از دوران رنسانس تاکنون به طور مؤثری به پیشرفت فیزیک و شیمی کمک کرده است، مع‌الوصف این تصورات را، حتی تا آغاز این قرن، همچون فرضیات ساده‌ای می‌پنداشتیم. این امر را مسلم می‌انگاشتیم که اعضای حسی[6] ما، که خود متشکل از اتم‌های بی‌شمار است، بی‌دقتتر از آن است که بتواند کوچکترین ذرهٔ ماده را مشاهده کند. اکتشاف مهم اوایل قرن بیستم این وضع را اساساً تغییر داد. چنان که به خوبی می‌دانیم، پیشرفت در تکنیک تجربی، امکان ثبت اثرات اتم‌های منفرد و تحصیل اطلاعات دربارهٔ ذرات بنیادی را، که خود تشکیل‌دهندهٔ اتم‌ها بود، به دست داد.

تأثیر تصور اتم‌گرایانهٔ دوران باستان بر تصور مکانیکی از مفهوم طبیعت[7] هرچه باشد، از طریق مطالعهٔ تجارب مستقیماً تحقق‌پذیر در فیزیک و نجوم بود که موفق به کشف قانونمندیهای فیزیک به اصطلاح کلاسیک گردیدیم. دستور گالیله، مبنی بر این که پدیده‌ها نمی‌تواند جز با کمیتهای قابل اندازه‌گیری[8] تشریح شود، امکان از میان برداشتن تصورات جان‌گرا را، که مدتها مانعی در صورتبندی منطقی مکانیک بود، به دست داد. اصول نیوتن شالودهٔ تشریح جبری[9] را ریخت. براساس این اصول، با شناخت از وضع یک سیستم فیزیکی در یک لحظهٔ معین، این امکان وجود دارد که وضع آن را در لحظهٔ آتی دیگری پیش‌بینی کنیم. براساس همین روشها، چندی بعد موفق به توضیح پدیده‌های الکترومغناطیسی گشتیم. برای این کار لازم شد تا به منظور تعیین حالت یک سیستم، علاوه بر موقعیت[10] و سرعت[11] اجسام با بار الکتریکی و مغناطیسی، شدت و جهت نیروهای الکتریکی و مغناطیسی هم در هر

2. Teilbarkeit 3. Beständigkeit 4. Mannigfaltigkeit
5. Veränderlichkeit 6. Sinnesorgane
7. mechanische Naturauffassung 8. meßbare Größen
9. deterministische Beschreibung 10. Ort 11. Geschwindigkeit

نقطه از فضا و در هر لحظهٔ معین ملحوظ گردد.

مدتها چنین فکر می کردیم که چارچوب مفاهیمی که مشخصه فیزیك کلاسیك است، باید بتواند ابزار مناسبی را برای توصیف تمامی پدیده‌ها فراهم سازد؛ و به خصوص به نظر می رسید که این مجموعه با گسترش تصورات اتمی و کاربرد آنها نیز مناسبت دارد. روشن است که برای سیستم هایی چون اجسام معمولی که از تعداد بی شماری از ذرات تشکیل می شود، مسئلهٔ تشریح جامع از حالت آنها نمی توانست مطرح باشد. با وجود این، بی آن که از آرمان جبری بودن دست بکشیم با تکیه بر اصول مکانیك کلاسیك موفق شدیم قانونمندیهای[۱۲] آماری را استنتاج کنیم که گویای بسیاری از خواص اجسام مادی بود. هر چند که قوانین مکانیکی حرکت[۱۳]، به جریان فرایندهای منفرد، امکان بازگشت[۱۴] کامل را می دهد، اما در تعادل آماری انرژی[۱۵] است ــ که نتیجهٔ برهمکنش میان ملکولها است ــ که خصلت بازگشت ناپذیری[۱۶] پدیده‌های حرارتی[۱۷] را نیز می یابیم. این توسعهٔ حوزهٔ کاربرد مکانیك نشان داد که تصورات اتم گرایانه تا چه حد در تشریح طبیعت ضروری است، و برای اولین بار امکان شمارش[۱۸] اتم‌های ماده را به دست داد.

توضیح مبانی قوانین ترمودینامیك که به کشف خصلت کلیت در فرایندهای اتمی منتهی گردید، از آموزهٔ قدیمی تقسیم‌پذیری محدود ماده بسیار فراتر می رفت. چنان که می دانیم، تحلیل عمیق تر پدیدهٔ تابش حرارتی[۱۹] سنگ محکی[۲۰] جهت برآورد وسعت تصورات فیزیك کلاسیك بود. کشف امواج الکترومغناطیسی مقدمتاً بنیانی را به وجود آورده بود که امکان فهم انتشار نور و توضیح بسیاری از خواص نوری اجسام را به دست می داد. اما همین که قرار شد تا به کمك این تصورات، تعادل تابشی را توضیح دهیم، با مشکلاتی غلبه نیافتنی مواجه گشتیم. این واقعیت که در این جا خود را در مقابل دلایلی می یافتیم که متکی بر اصول

12. statistische Gesetzmäßigkeiten
13. mechanische Bewegungsgesetze
14. Umkehrung
14. statistisches Energiegleichgewicht
16. Irreversibiltät
17. Wärmephenomene
18. Zählung
19. Wärmestrahlungsphänomen
20. Prüfstein

کلی، و کاملا مستقل از فرضیات ویژه ای در پیوند با عناصر متشکلهٔ مادّه بود، پلانك را در اولین سال این قرن به کشف کوانتوم عام کنش راهنمایی کرد. این کشف به روشنی نشان داد که تشریح فیزیك کلاسیك تعمیمی خیالی است که حوزهٔ کاربردش محدود است. در پدیده های با مقیاس معمول، کنش ها در مقابل کوانتوم آنقدر بزرگ است که از آنها می توان صرف نظر کرد. در حالی که در فرایندهای کاملا کوانتومی با قوانینی مواجه می شویم که به کلی با تصور مکانیکی از طبیعت بیگانه است و تن به هیچ گونه توصیف جبری روشن نمی دهد.

وظیفه ای که کشف پلانك، به فیزیکدانان محول می کرد، چیزی جز این نبود که با بررسی عمیق فرضیات پیشین ــ که کاربرد مفاهیم اولیهٔ فیزیکی بر آنها استوار است ــ کوانتوم کنش در تعمیمی منطقی از تشریح فیزیك کلاسیك گنجانده شود. در جریان تکامل فیزیك کوانتومی ــ که شگفتی های بسیاری نیز به همراه داشت ــ پیوسته آموختیم که یافتن راه درست در حوزه‌ای ناخویشاوند با حوزه‌ای که ابزارهای بیان موجود برای تشریح آن مناسب باشد، تاچه حد دشوار است. همکاریهای وسیع وجدی فیزیکدانهای کشورهای مختلف، که هر یك به شیوه ای، به مؤثرترین وجهی به این امر کمك کردند، تا به مسائل وضوح بیشتری داده شود پیشرفتهای مهمی را ممکن ساخت. بدیهی است که در این مورد امکان بحث دربارهٔ سهم هر یك از آنها وجود ندارد، اما برای آن که صحبتهایم را در این مورد پی بگیرم، مختصراً برخی از مشخصات این تکامل را یادآوری می کنم.

در حالی که پلانك محتاطانه به براهین آماری قناعت می کرد و با مشکلاتی مواجه بود که از تحلیل جامع طبیعت ــ آن هم با اعراض از اصول کلاسیك ــ ناشی می شد، اینشتین، جسورانه لزوم توجه به کوانتوم کنش در پدیده های اتمی منفرد را خاطر نشان می ساخت. در همان سال که وی با ارائه نظریهٔ نسبیّت به مجموعهٔ مفاهیم فیزیك کلاسیك هماهنگی کلی بخشند، نشان داد که توصیف مشاهدهٔ اثرات فوتوالکتریك ایجاب می کند که انتقال انرژی به هر یك از الکترون های گسیل شده از اجسام، با جذب یك به اصطلاح کوانتوم تابش همراه باشد. اما از آن جا که تصور موجی[21] در تشریح انتشار نور ضروری بود، مسئلهٔ جایگزینی تصور ذره‌ای[22] به

21. Wellenvorstellung 22. Teilchenbild

جای تصور موجی نمی توانست در میان باشد. به همین دلیل با معضل خاصی مواجه شدیم که راه حلش بررسی عمیقتر گسترهٔ محدود تجسم تصویری را ایجاب می کرد.

چنان که می دانیم، کشف هستهٔ اتمی توسط راترفورد، پاسخ به این سؤال را مشکلتر کرد. هستهٔ اتمی، علی رغم کوچك بودن آن، تقریباً تمامی جرم اتم را در بر دارد و بار الکتریکی آن با تعداد الکترون های موجود در اتم خنثی برابر است. این کشف تصویری ساده از اتم به دست داد که امکان کاربرد تصورات مکانیکی و الکترومغناطیسی را فراهم ساخت. البته این نکته هم کاملا روشن بود که بر اساس اصول فیزیك کلاسیك، هیچ نوع ترتیب وضعی[۲۳] از ذرات با بار الکتریکی نمی توانست دارای آن مقدار پایداری باشد که خواص فیزیکی و شیمیایی اتم ها را بتوان به کمك آن توضیح داد. به ویژه بر اساس اصول الکترومغناطیسی کلاسیك، هر حرکتی از الکترون ها به دور هستهٔ اتم، باید تابش پیوستهٔ انرژی را تولید می کرد، به طوری که موجب انقباض[۲۴] سیستم اتمی گردد، تا حدی که الکترون ها با هسته درآمیزد و تشکیل ذره ای خنثی با ابعادی کوچکتر از آنچه که برای اتم قائلیم بدهد. قوانین تجربی حاکم بر طیف خطی عناصر، که تا آن زمان برایمان غیر قابل فهم بود، اولین نشانه‌ها از اهمیت کوانتوم کنش در فهم پایداری و اثرات تابشی اتم را به دست داد.

اصل کوانتوم نقطهٔ شروع حرکت بود. بر اساس این اصل، هر تغییری در انرژی اتم نتیجهٔ انتقال کامل اتم از حالتی ایستا به حالت ایستای دیگر است. به علاوه، با قبول این فرض که هر واکنش تابشی اتمی، با انتشار یا جذب یك کوانتوم نور همراه است، تعیین مقادیر انرژی حالت ایستا، به کمك طیف، برایمان ممکن گردید. این که تقسیم ناپذیری فرایندهای انتقال و یا پیدایش آنها در برخی از شرایط را در چارچوب تشریح جبری نمی توان توضیح داد، امری بدیهی بود. مع الوصف به کمك اصل تناظر این امکان به وجود آمد تا تصویری کلی از شیوه های ارتباط الکترونی در اتم ها به دست دهیم؛ تصویری که گویای بسیاری از خواص عناصر بود. اصل تناظر این امکان را فراهم آورد تا با مقایسهٔ فرآیندهای واقعی با تکاملی که فیزیك کلاسیك

23. Konfiguration 24. Zusammenziehung

پیش بینی می کند در جستجوی خط مشی ایی در جهت تعمیم آماری شیوهٔ تشریح خود باشیم، به طوری که این تعمیم با اصل کوانتومی سازگار باشد.این امر به تدریج روشن شد که لازم است در تشریح سازگار پدیده های اتمی، هرچه بیشتر از استفاده ازتصورات موجود صرف نظر کنیم و با تغییر شکل بنیانی[۲۵] شیوهٔ تشریح خود جایی برای مشخصه‌هایی باز کنیم که مشروط به کوانتوم کنش است.

راه‌حل ارائه شده که حاصل کمکهای پرارزش عده‌ای از برجسته‌ترین نظریه‌پردازان فیزیك عصر ما بود، در عین حال، سادگی اعجاب برانگیزی داشت. درست همانند نظریهٔ نسبیت در برخی از تجریدات ریاضی بسیار تکامل یافته، ابزار مناسب، برای صورتبندی این نظریه پیدا شد. جای کمیتهایی را، که در فیزیك کلاسیك به کار تعیین حالت یك سیستم می آید، در صورتگرایی مکانیك کوانتومی، عملگرهای نمادی‌یی[۲۶] می گیرد که خاصیت جابه‌جایی[۲۷] در آنها را قواعد محاسباتی یی محدود می کند که در خود آنها کوانتوم کنش وارد می شود. از این جا این نتیجه حاصل می شود که به کمیتهایی چون مختصات مکانی و مؤلفه‌های[۲۸] اندازهٔ حرکت یك ذره نمی توان به طور همزمان مقادیر معینی نسبت داد. درست در همین راستا خصلت آماری چنین صورتگرایی، همچون تعمیمی طبیعی از شیوهٔ تشریح جبری فیزیك کلاسیك پدیدار می شود. چنین تعمیمی این امکان را هم به ما داد تا به شیوه ای منطقی قوانینی را صورتبندی کنیم که فردیت[۲۹] ذرات را محدود می کند و در عین حال همچون خود کوانتوم عام کنش، نمی تواند به کمك تصورات فیزیکی معمول بیان گردد.

به کمك روشهای مکانیك کوانتومی موفق شدیم در عرض سالیان اندکی بسیاری از نتایج تجربی را که در ارتباط با خواص فیزیکی و شیمیایی اجسام بود، توضیح دهیم. این امکان هم حاصل شد تا نه فقط اتصال[۳۰] الکترونی در درون اتم و ملکول را مشروحاً توضیح دهیم، بلکه حتی دیدی عمقی از ساختمان و واکنش های

25. radikale Umformung
26. symbolische Operatoren
27. Vertauschbarkeit
28. Komponente
29. Individualität
30. Bindung

هستهٔ اتمی به دست آوریم. در همین زمینه باید یادآور شد که، قوانین احتمالات در مورد تبدیلات خود به خود هسته‌های رادیو اکتیوی نیز، به عنوان جزئی از تشریح مکانیك کوانتومی آماری، در این شیوهٔ تشریح وارد شد. و بالاخره همین که مسئلهٔ مهم خواص ذرات بنیادی جدیدی مطرح شد، که با مطالعهٔ تبدیلات هسته‌یی در اثر انرژی زیاد در سالهای اخیر بدانها پی برده بودیم، با تطبیق صورتگرائی مکانیك کوانتومی به شرایط تغییر ناپذیری نظریهٔ نسبیّت به فهم خود در این زمینه نیز عمق بیشتری بخشیدیم. اما در اینَ جا با مسائل جدیدی مواجه می شویم که حل آنها به وضوح نیازمند تجریدات جدیدی است که بتواند کوانتوم کنش و بار الکتریکی بنیادی[۳۱] را به یکدیگر مربوط سازد.

هر قدر که در حوزهٔ وسیع تجربه، مکانیك کوانتومی خود را ثمر بخش نشان داده باشد، این واقعیت که چنین مکانیکی ما را مجبور به چشم پوشی از انتظارات معمول در فیزیك کلاسیك می کند، بسیاری از فیزیکدانها و فلاسفه را بر آن داشت تا ازخود سؤال کنند که آیا واقعاً مکانیك کوانتومی می تواند توضیحی جامع از پدیده‌های طبیعی به دست دهد؟ به خصوص این نظریه ارائه شد که به شیوهٔ تشریح آماری باید همچون مفری موقتی نظر داشت که در هر صورت شیوهٔ تشریح جبری جای آن را خواهد گرفت. بحث جامع دربارهٔ این مسئله، خود توضیحی بر مقام ما به عنوان ناظر در حوزهٔ فیزیك اتمی را به همراه آورد که به ما درسهای معرفتشناختی ای آموخت که من در ابتدای این صحبت بدانها اشاره کردم.

از آن جا که هدف علم این است که تا حوزهٔ تجارب ما را وسیعتر کند و بدانها نظم ببخشد، هر تحلیلی از شرایط شناخت باید بر مطالعه خصلت و شعاع عمل وسائل ارتباطی متکی باشد. مسلم است که وسیلهٔ اصلی ما زبان است که بدین منظور گسترش یافته است تا ما را در دنیای اطراف خود رهنمون باشد و به جوامع بشری سازمان دهد. گسترش حوزهٔ تجربی ما باز هم این سؤال را مطرح می کند که آیا مفاهیم و تصوراتی را که زبان روزمره بیان می کند، در تحقق بخشیدن به منظور ما کافی است؟ مسائل فیزیك، به خصوص به دلیل سادگی نسبی خود، وسیلهٔ مناسبی

31. Elementarladung

برای مطالعهٔ قابلیت کاربرد وسائل ارتباطی است. گسترش فیزیك اتمی به خصوص به ما آموخت که این امکان وجوددارد، تا بی آن که بخواهیم اززبان روزمره صرف نظر کنیم، چارچوبی فراهم آوریم که بتوانیم تجارب جدید خود را در آن میان به طور جامع تشریح کنیم.

در این مورد باید در نظر داشت که در هر گزارشی دربارهٔ تجربه‌ای فیزیکی، شرایط تجربی و مشاهدات مربوطه، الزاماً باید با همان وسایلی تشریح شود که در فیزیك کلاسیك بدین منظور به کار می آید. مثلا بررسی ذرات اتمی منفرد به کمك اثرات بازگشت ناپذیر تشدید و تقویت ممکن می گردد ــ مثل اثری[۳۲] که نفوذ الکترون در یك صفحهٔ عکاسی به جای می گذارد، و یا تخلیهٔ الکتریکی یی که در درون یك شمارشگر[۳۳] صورت می گیرد. مشاهدات ما هم به این امر مربوط می شود که ذره در چه زمانی ودر چه محلی بر روی صفحه ثبت شده و یا با چه انرژی یی وارد شمارشگر شده است. طبیعی است که تحصیل چنین اطلاعاتی مشروط به این است که دربارهٔ موقعیت صفحهٔ عکاسی نسبت به دیگر قطعات آرایش تجربی ــ مثلا دیافراگم های تنظیم کننده وکشوها که مختصات زمانی ـ مکانی را تعیین می کند، ویا اجسام با بار الکتریکی ومغناطیسی که تعیین کنندهٔ میدانهای نیروی خارجی است که بر ذره تأثیر می گذارد وبدین ترتیب امکان اساس اندازه گیری انرژی را به‌دست می دهد ــ شناخت داشته باشیم. درست است که شرایط تجربی می تواند به طُرق مختلف تغییر کند، اما آنچه اهمیت دارد این است که ما بتوانیم در هر مورد دیگران را از آنچه انجام داده‌ایم و یا آموخته‌ایم مطلع کنیم، و بتوانیم طرز کار دستگاههای اندازه‌گیری را در چارچوب مفاهیم فیزیك کلاسیك تشریح کنیم.

اما از آن جا که تمامی اندازه‌گیریها مربوط به اجسامی می شود که به قدری سنگین است که می توان در تشریح آنها از اثرات کوانتوم کنش صرف نظر کرد، تا این جا در فیزیك اتمی با مسئلهٔ جدید مشاهده مواجه نیستیم. تشدید اثرات اتمی که به ما امکان می دهد تا تجارب را بر اساس کمیتهای قابل اندازه گیری تشریح کنیم، و به پدیده‌ها خصلت فردی خاص می دهد، یادآور بازگشت ناپذیری مفهوم مشاهده

32. Spur 33. Zähler

است. در حالی که در چارچوب فیزیك كلاسيك هيچ تفاوتی میان تشریح ابزارهای اندازه‌گیری و تشریح اشیای مورد مطالعه وجود ندارد، موقعیت ما در پیوند با مطالعهٔ پدیده‌های کوانتومی اساساً به طرز دیگری است، زیرا که کوانتوم کنش محدودیتهایی را در تعیین حالت یك سیستم، از طریق اندازه‌گیری مختصات زمانی-مکانی مقدار انرژی و تکان، تحمیل می کند. اما از آن جا که تشریح جبری فیزیك كلاسيك متکی بر این فرض است که مختصات زمانی-مکانی با قوانین دینامیکی بقا سازگاری کامل دارد، در این جا طبیعتاً با این مسئله مواجه می شویم که آیا چنین شیوهٔ تشریحی می تواند بدون محدودیت در تشریح اشیای اتمی نیز اعمال شود؟

نقش برهمکنش میان اشیا و ابزارهای اندازه‌گیری در تشریح پدیده‌های کوانتومی در روشن شدن این نکتهٔ اساسی اهمیّت زیادی داشت. چنان که هایزنبرگ این نکته را خاطر نشان ساخته است، تعیین محل يك شیء در حوزهٔ محدود زمانی-مکانی، بر اساس مکانیك کوانتومی، میان ابزارهای اندازه‌گیری و شیء مورد مطالعه مبادلهٔ انرژی و تکانی را با خود به همراه می آورد، به طوری که هر چه حوزهٔ مورد مطالعه کوچکتر باشد، این مبادله بیشتر است. بررسی این مسئله، که تا چه حد این برهمکنش ملازم با مشاهده باید در تشریح پدیده‌ها مورد توجه قرار گیرد، نتیجتاً اهمیت اساسی داشت. این مسئله بحثهای عمقی فراوانی را سبب شد. در همین بحثها پیشنهاداتی نیز اظهار شد که مهار کامل تأثیرات را منظور داشت. با این حال، در هیچ یك از این پیشنهادات بدین واقعیت به قدر کافی توجه نشد که در تشریح دقیق طرز کار دستگاههای اندازه‌گیری، هر گونه برهمکنش میان ابزارها و اشیای اتمی، آن چنان که کوانتوم کنش آن را ایجاب می کند، خود بخش جدا ناپذیر از پدیده‌های اتمی است.

هر آرایش تجربی که امکان ثبت ذرهٔ اتمی در حوزه زمانی-مکانی محدودی را دهد، نیازمند به خط کشهای اندازه‌گیری مناسب و ساعتهای همزمان[۳۴] است که کنترل انرژی و تکان انتقالی به خود را بنابر تعریف دقیق منتفی می سازد. بالعکس چنانچه بخواهیم قوانین بقای دینامیکی را بدون ابهام در فیزیك كوانتومی اعمال

34. synchronisierte Uhren

کنیم، باید اصولا در تشریح پدیده‌ها از تعیین دقیق مختصات زمانی ـ مکانی چشم‌پوشی کنیم. این تباین در شرایط تجربی ــ که استفاده از مفاهیم اولیه بدان مشروط است ــ ایجاب می کند که در تشریح پدیده ها کل آرایش تجربی مورد توجه قرار گیرد. هر تقسیم به جزءِ معینی تغییری را در دستگاه موجب می شود که خود باعث بروز پدیده‌های منفرد جدیدی است. این امر در عین حال هم بیان و هم نتیجه‌ای از تقسیم ناپذیری پدیده‌های اتمی است. درست در همین جا است که اساس تشریح جبری فرو می ریزد و خصلت آماری پیش بینی های ما در این واقعیت به وضوح نمودار می شود که در شرایط تجربی یکسان مشاهدات انجام شده از جانب ما می تواند به فرایندهای منفرد مختلفی مربوط شود.

چنین ملاحظاتی نه تنها به معضل ما در مورد انتشار نور پایان بخشید، بلکه تناقضاتی را از میان برداشت که مسئلهٔ تجسم بصری[۳۵] حالات ذرات مادی با خود به همراه می آورد. روشن است که در این جا این امکان وجود ندارد تا به دنبال توضیح فیزیکی به معنای معمول آن بگردیم، بلکه آنچه از یك حوزهٔ تجربی جدید می توان انتظار داشت این است که تضادهای ظاهری را بتوان از میان برداشت. پدیده‌های اتمی مورد مشاهده، هر قدر که در شرایط تجربی مختلف، با یکدیگر متضاد باشند، همگی را، بدین مفهوم که هر یك کاملا مشخص است و در جمع شناختی مشخص از اشیای اتمی مورد مطالعه به دست می‌دهد، می توان مکمل یکدیگر دانست. صورتگرایی مکانیك کوانتومی، که یگانه هدفِ آن درکِ مشاهداتی است که در شرایط تجربی گوناگون به دست می آید، و به کمك مفاهیم اولیهٔ فیزیکی تشریح می شود، توصیف مکملی جامعی از یك حوزهٔ تجربی بسیار دقیق به دست می دهد. چشم‌پوشی از تجسم روشن، تنها مربوط به حالت اشیای اتمی است، در حالی که اساس تشریح شرایط تجربی، درست، همچون آزادی در انتخاب آنها، کاملا محفوظ باقی می ماند. در تمامی این روابط، به هر صورتگرایی که فقط قابل اعمال به پدیده‌های بسته باشد، باید همچون تعمیمی منطقی از فیزیك کلاسیك نظر داشت.

با توجه به تأثیر تصور مکانیکی از طبیعت بر تفکر فلسفی، این مطلب قابل قبول

35. anschauliche Darstellung

است که گاهی در مفهوم مکملی به ناظر ذهنی[36] رجوع می شود؛ امری که خود با عینیت تشریح علمی ناسازگار است. بدیهی است که در حوزهٔ تجربی باید میان ناظر و محتوای مشاهده[37] تمایز روشنی قائل شد. اما این را هم باید به خاطر بیاوریم که کشف کوانتوم کنش حتی به اساس تشریح طبیعت وضوح بیشتری بخشید و شرایط اولیه تاکنون شناخته نشده ای بر استفادهٔ منطقی از مفاهیمی را بر ما مکشوف ساخت که مبادلهٔ اطلاعات در مورد تجارب ما متکی بر آنها است. همچنان که دیدیم، در فیزیك کوانتومی لازم است که در تعریف پدیده‌ها به تشریح طرزکار دستگاههای اندازه گیری توجه کنیم و یا به عبارتی میان ذهن و عین تمایز قائل شویم، به طوری که این تمایز، در هر مورد، استعمال روشن مفاهیم فیزیکی مقدماتی را، که به کار تشریح می آید، ممکن سازد. مفهوم مکملی ــ به دور از هر گونه استمداد از باطن، که خود بیگانه با روح علم است ــ شرایط منطقی برای تشریح و جمع تجارب در فیزیك اتمی را خاطر نشان می سازد.

درسهایی که فیزیك اتمی در ارتباط با مسائل عام شناخت بشری به ما آموخت، درست به مانند دیگر پیشرفتهایی که پیش از این در فیزیك صورت گرفته است، ما را بدین کار کشید تا استفاده از ابزارهای بیان را، به هنگام تشریح عینی در دیگر حوزه‌های شناخت، مجدداً مورد بررسی قرار دهیم. به ویژه، همین که به اهمیت مسئلهٔ مشاهده پی بردیم، از یك طرف سؤالاتی دربارهٔ مقامی که موجودات زنده در توصیف طبیعت دارد، و ازطرف دیگر، سؤالاتی دربارهٔ موقعیّت ما به عنوان موجود متفکر[38] و موجود فعال[39] مطرح می شود. اگرچه از برخی لحاظ در چارچوب فیزیك کلاسیك می توان موجودات زنده را با ماشین مقایسه کرد، روشن است که چنین مقایسه‌هایی به ویژگیهای حیات به قدر کافی توجه ندارد. اشکالاتی که در مسئلهٔ تمایز اولیهٔ روح[40] از جسم[41] وجود دارد، با وضوح هرچه تمامتر نشان می دهد که تصور مکانیکی از طبیعت تا چه حد برای تشریح موقعیت انسان ناکافی است.

36. Subjektiver Beobachter
37. Inhalt der Beobachtung
38. denkendes Wesen
39. handelndes Wesen
40. Seele
41. Leib

مسائلی که ما در این جا با آنها مواجه هستیم بدین واقعیت به وضوح مربوط است که تشریح بسیاری از جنبه‌های هستی بشری نیازمند مجموعهٔ واژگانی است که مستقیماً متکی بر تصورات فیزیکی ساده نیست. امّا، اکنون که قابلیت کاربرد محدود این تصورات را در مورد پدیده‌های اتمی پذیرفته‌ایم، می‌توانیم تصور کنیم که پدیده‌های حیاتی و روانشناختی تاچه حد می‌تواند جایی برای خود در چارچوب تشریح عینی بیابد. همچنان که پیشتر نیز اشاره کردیم، در این جا نیز صحبت از این است که در هر مورد باید به تفکیك ناظر از محتوای خبر[۴۲] توجه داشت. در حالی که در تصور مکانیکی از طبیعت چنین تمایزی ملحوظ است، این تعیین محل خط فاصل میان پدیده‌ها به هنگام استفادهٔ سازگار از مفاهیم است که امکان تشریح وسیعتر آنها را می‌دهد.

بی آن که بخواهیم تعریفی کامل از حیات آلی به دست دهیم، می‌گوییم که مشخصه‌های ارگانیسم زنده استقلال[۴۳] و توانایی او به سازگاری[۴۴] است؛ امری که موجب می‌شد که ما در تشریح وظایف درونی ارگانیسم و واکنشهایش در مقابل عوامل خارجی غالباً به استعمال واژهٔ غایت[۴۵] ــ که جایی در فیزیك و شیمی ندارد ــ ناچار گردیم. اگر چه نتایج فیزیك اتمی موارد استعمال متعددی در زیست فیزیك[۴۶] و زیست شیمی[۴۷] یافته است، پدیده‌های کوانتومی منفرد بسته هیچ مشابهتی بروز نمی‌دهد که به مفهوم حیات نزدیك باشد. همچنان که دیدیم، تشریح پدیده‌های اتمی، که حوزهٔ تجربی وسیعی را در بر می‌گیرد، بر آزادی در انتخاب ابزارهای اندازه‌گیری متکی است که برای استفاده از مفاهیم اولیه ضروری محسوب می‌شود. در یك ارگانیسم زنده، بالعکس، تمایز میان ابزارهای اندازه‌گیری و اشیای مورد مطالعه عملا غیرممکن است. درست به همین دلیل باید تصور کرد که آرایشهای تجربی، که قصد تشریح مشخص طرز کار ارگانیسم را، به معنایی که از تشریح در فیزیك اتمی فهمیده می‌شود، داشته باشد، می‌تواند با بروز حیات در ارگانیسم ناسازگار باشد.

42. Mitteilung 43. Selbsständigkeit 44. Anpassungsfähigkeit
45. Zweckmäßigkeit 46. Biophysik 47. Biochemie

در تحقیقات زیست شناختی، تعلیمات مربوط به خصلت‌های کلیّت ارگانیسم‌های زنده، و واکنشهای غایت گرایانه، در کنار استنتاجات دقیقتر در مورد ساختمان و فرایندهای تنظیم در آنها، مورد استفاده قرار می گیرد. از این تحقیقات، چنانچه می دانیم، پیشرفتهای مهمی خصوصاً در پزشکی حاصل شده است. در این جا مسئلهٔ اتخاذ موضع عملی در ارتباط با موردی مطرح است که ابزارهای بیان به کار گرفته شده برای توصیف جنبه‌های مختلف آن، به شرایط متباین مشاهده رجوع می کند. با توجه به این نکته، باید پذیرفت که تصورات مکانیکی و غایی دو دیدگاه متضاد نیست، بلکه نشان دهنده رابطهٔ مکملی است که به موقعیت ما به عنوان ناظر طبیعت مربوط می شود. برای آن که از بروز هرگونه سوء تعبیری جلوگیری کنیم، لازم است خاطرنشان سازیم که تشریح حیات آلی و داوری دربارهٔ امکانات تکاملی آن، برخلاف تشریح قانونمندیهای اتمی، نمی تواند کامل باشد، بلکه تنها می توان این منظور را دنبال کرد که چارچوب مفاهیم وسعتی مناسب بیابد.

در تشریح تجارب روانی، با شرایط مشاهده و ابزارهای بیان مناسب با آن مواجه‌ایم. برای هیچ یك از این دو در مجموعهٔ اصطلاحات معمول در فیزیك جایی وجود ندارد. صرف نظر از این که تا چه حد صحیح و ضروری است که در تشریح رفتار حیوانات واژه‌هایی چون غریزه و عقل را به کار گیریم، در تشریح رابطه میان انسانها ناگزیریم واژهٔ شعور را نه تنها در ارتباط با خود، بلکه در ارتباط با دیگران به‌کار گیریم. درحالی که مجموعه واژگانی که به‌درستی راهگشای ما در دنیای اطراف باشد، می تواند براساس تصورات فیزیکی ساده و فکر علیت باشد، در تشریح حالات ذهنی[48] خود نیاز به شیوهٔ تشریح مکملی به معنای اخص داریم. روشن است که واژه‌هایی چون فکر واحساس به زنجیر علّی کاملا پیوسته مربوط نمی شود، بلکه در ارتباط با تجاربی متباین با یکدیگر است که خود مشروط به تفاوتهای مشخصی است که میان محتوای آگاه وزمینهٔ ذهنی[49] وجود دارد؛ زمینه‌ای که ما آن را مختصراً خود می نامیم.

رابطهٔ میان تعلق اراده[50] وارزیابی آگاه انگیزهٔ رفتار[51] خصوصاً بسیار آموزنده

48. Gemütszustände 49. Hintergrund 50. Willensgefühl
51. Handlungsmotiv

است. عدم امکان اجتناب از کاربرد چنین ابزارهای بیان متضادی در تشریح غنای زندگی آگاه، به بهترین وجهی یادآور شیوه‌ای است که مفاهیم فیزیکی اولیه را در فیزیك اتمی می‌خواهد به کار گیرد. اما در چنین مقایسه‌ای باید توجه داشت که تجارب روانی نمی‌تواند مورد اندازه‌گیری فیزیکی قرار بگیرد، ومفهوم اراده ــ که نمی‌توان بدان چون تعمیمی از تشریح جبری نظر داشت ــ خود از آغاز متوجه خصوصیات زندگی بشری است. بی آن که بخواهیم بیشتر به بحث فلسفی قدیمی دربارهٔ آزادی اراده بپردازیم، می‌خواهم فقط این نکته را یادآوری کنم که استفاده از واژهٔ اراده در تشریح عینی هستی ما، درست با استفاده از واژه‌هایی چون امید و مسئولیت، که انسانها آنها را نیز در مراودات خود به کار می‌گیرند، مطابقت دارد.

در این جا به مسائلی رسیدیم که به جوامع بشری مربوط می‌شود که در آن، کثرت ابزارهای بیان مشروط به این عدم امکان است تا نقش فرد در جامعه را با خط فاصلی مشخص معین کنیم. این واقعیت که فرهنگهای بشری، که در شرایط حیاتی مختلف رشد یافته است، در سنن و ساختار اجتماعی با یکدیگر تباین دارد، به ما امکان می‌دهد تا چنین فرهنگهایی را مکمل یکدیگر بدانیم. اما در این جا به هیچ وجه با خصلتهای کاملا متباین ــ آن چنان که در تشریح عینی مسائل کلی فیزیك و روانشناسی بدان برخوردیم ــ سروکار نداریم، بلکه با رهیافتهای[52] مختلفی روبرو هستیم که تماس نزدیك ملتها با یکدیگر می‌تواند آنها را به یکدیگر بهتر بشناساند و یا موجب اصلاح آنها گردد. در زمان ما، که پیشرفت دانش و تکنیك سرنوشت این ملتها را بیش از پیش به یکدیگر گره زده است، همکاریهای علمی بین المللی وظایف سنگینی را به عهده دارد که انجام آنها تنها وقتی می‌تواند ممکن گردد که به شرایط عمومی شناخت بشری آگاهی روشن داشته باشیم.

52. Einstellungen

فیزیك و مسئلهٔ حیات

دعوت از جانب جامعهٔ پزشکان کپنهاگ را به منظور ایراد سخنرانی با خوشحالی پذیرفتم. سخنرانی من یکی از سخنرانی هایی است که از جانب جامعهٔ پزشکان، به منظور بزرگداشت خاطرهٔ دانشمند بزرگ دانمارکی، که آثارش بیش از پیش نه فقط در موطن خود، بلکه در جهان علمی مورد تحسین است، ترتیب یافته. به عنوان موضع صحبت، مسئله‌ای را برگزیدم که فکر بشری را طی قرون و اعصار به خود مشغول داشته و «نیلس استنسن»[1] هم بدان بسیار علاقمند بوده است. مسئله این است که تا چه حد معلومات فیزیکی ما می تواند در توضیح حیات آلی، در تمامی مظاهر پیچیده و متعددش، به ما کمك کند؟ در این جا می کوشم نشان دهم که پیشرفتهای فیزیك طی دهه‌های اخیر اساس جدیدی را جهت توضیح این مسئله ارائه داده است. کشف جهان اتم، که زمانی بسیار طولانی بدان دسترسی نداشتیم، ما را به موقعیت خود در طبیعت ـــ که ما خود بخشی از آنیم ـــ به عنوان ناظر آگاه ساخت.

در مکاتب فلسفی یونان باستان به عقاید مختلفی برمی خوریم که می تواند به بهترین وجهی تفاوتهای آشکار میان ارگانیسم‌های زنده و دیگر اجسام مادی را تشریح کند. همچنان که می دانیم، اتم گرایان محدودیت تقسیم پذیری ماده را، نه تنها برای توضیح پدیده‌های فیزیکی ساده، بلکه برای تشریح وظایف ارگانیسم‌ها و تجارب روانی مربوط به آنها لازم می‌دانستند. ارسطو که در مقابل، تصورات

1. Niels Steensen

اتم گرایانه را باطل می دانست، با تصور این که ارگانیسم های زنده خود یك کلیت را تشکیل می دهد، بر لزوم وارد کردن مفاهیمی چون کمال[۲] و غایت[۳] در تشریح طبیعت تأکید داشت.

در طول قریب به دو هزار سال این وضع تغییر محسوسی نکرد. تنها در عصر رنسانس بود که کشفیات مهمی در فیزیك و زیست شناسی این وضع را تکان داد. گام مهم در فیزیك، اعراض از نظریهٔ ارسطو در مورد نیرو به عنوان عامل هرگونه حرکتی بود. گالیله با قبول این که حرکت یکنواخت بیان لختی[۴]، و نیرو علت تغییر حرکت است، اصولی را در مکانیك بنیان نهاد که بعدها نیوتن بدان شکلی آن چنان محکم و منطقی داد که مورد تحسین بسیاری از نسلهای بعد از خود قرار گرفت. مفهوم غایت در این مکانیك کلاسیك منتفی است، زیرا که در این جا جریان تکاملی پدیده ها نتیجهٔ به خودی خود شرایط اولیه است.

پیشرفت در دانش مکانیك باید عمیقترین تأثیر را بر تمامی علوم این زمان بگذارد. مطالعات مربوط به کالبدشناسی توسط «وسال»[۵] و کشف گردش خون توسط «هاروی»[۶] به خصوص مسئلهٔ مقایسهٔ ارگانیسم های زنده با ماشین ها را ــ که طرز کارشان براساس قوانین مکانیك است ــ مطرح ساخت. درمیان فلاسفه، دکارت بویژه مسئلهٔ مشابهت میان حیوانات ودستگاههای خودکار[۷] را تأکید کرد. در مورد انسان، دکارت روحی[۸] را بدو نسبت می داد که در غده[۹] مشخصی در مغز[۱۰] قرار دارد و با بدن در حال برهمکنش است. «نیلس استنو»[۱۱] در همین زمان در کنفرانس مشهور خود در پاریس دربارهٔ کالبدشناسی[۱۲] مغز، ناقص بودن شناختی را که در این عصر در مورد چنین پدیده هایی داشتیم، نمایاند، که خود نشان دهندهٔ فکر بازو قدرت مشاهدهٔ قوی است که از ویژگیهای بارز کلیهٔ کارهای علمی استنو محسوب می شود.

پیشرفتهای بعدی زیست شناسی، خصوصاً بعد از اختراع میکروسکپ،

2. Vollkommenheit 3. Zweckdienlichkeit 4. Beharrungsvermögen
5. Vesalius 6. Harvey 7. Automaten 8. Seele
9. Drüse 10. Gehrin 11. Steno 12. Anatomie

ظرافت ویژهٔ ساختمان آلی و مکانیسم‌های تنظیم[۱۳] را آشکار ساخت. در زمانی که تصورات مکانیستی حوزهٔ اعمال بیش از پیش وسیعتری را می‌یافت، دیدگاههای حیاتگرا[۱۴] و غایتگرا[۱۵]، که ملهم از قدرت اعجاب انگیز ارگانیسم‌ها در بازسازی[۱۶] و سازگاری[۱۷] بود، دوباره بر سر زبانها افتاد. این افکار بی آن که دوباره به تصورات اولیه‌ای بازگردد که نیروی حیاتی را حاکم بر ارگانیسم‌ها می‌دانست، عدم کفایت روشهای تحقیق فیزیکی در تشریح حیات را خاطر نشان می‌ساخت. برای این که اوضاع و احوال سالهای اول این قرن را نشان دهم، میل دارم به نقل متن زیر که به دست پدرم کریستین بور[۱۸] فیزیولوژیست نوشته شده است، بپردازم. او در مقدمهٔ مقالهٔ خود دربارهٔ «اتساع مرضی ریه»[۱۹]، که در سال ۱۹۱۰ در کتاب سال دانشگاه کپنهاگ منتشر شده می‌نویسد:

«وظیفهٔ اصلی فیزیولوژی، تا حدی که آن را به عنوان رشتهٔ خاصی از علوم طبیعی می‌دانیم، مطالعهٔ پدیده‌هایی است که مخصوص ارگانیسم زنده به عنوان موضوع تجربه است، و بدین طریق نایل شدن به درك این مطلب است که چگونه اجزای متعدد ارگانیسم به تنظیم خود به خود کمك می‌کند، با یکدیگر هماهنگ می‌شود، و در جمع خود را با تغییرات عوامل خارجی و مبادلات درونی سازگار می‌کند. نتیجتاً آنچه که در ماهیت این وظیفه قرار دارد این است که ارگانیسم را همچون غایت، و فرآیندهای تنظیم را در خدمت بقاءِ آن بدانیم بدین مفهوم است که من واژهٔ غایت گرایی را در مورد وظایف حیاتی به کار می‌برم. اما برای این که در هر مورد خاص، کاربرد این مفهوم نه بی معنی باشد و نه گمراه کننده، لازم است که بررسی تجربی همه‌جانبه پدیده‌های حیاتی انجام شود. این بررسی باید به قدری دقیق باشد تا آن که در هر گام بتوانیم به روشنی ببینیم که چگونه این پدیده‌ها به بقای ارگانیسم کمك می‌کند. این شرط به خودی خود برقرار است، زیرا که چیزی جز این دلیل علمی را ایجاب نمی‌کند که واژهٔ غایت در این مورد به خصوص در انطباق با تعریف آن به کار گرفته شده است، هر چند که تأکید آن بی‌مورد نباشد. تحقیقات فیزیولوژیك، در طول زمان، مکانیسم‌های تنظیمی ناشناخته آن چنان متنوعی را بر ما آشکار ساخته، که به سهولت راغبیم هریك از مظاهر

13. Regulierungsmechanismen
14. vitalistischer Gesichtpunkt
15. finalistischer Gesichtpunkt
16. Regenerationsfähigkeit
17. Anpassungsfähigkeit
18. Christian Bohr
19. Pathologische Lungenerweiterung

حیات را، بی آن که از طریق تجربه، تأثیر دقیق آن را تعیین کرده باشیم، غایت گرا بدانیم. این کار بدان جا خواهد انجامید که با اتکا بر مشابهت مبهمی که در کثرت وظایف حیاتی یافت می شود، به تفسیر مکانیسم فرآیند حیاتی از طریق سازگاری با غایت، براساس برآورد ذهنی از نوع ویژهٔ مبتنی بر غایت، که چنین مکانیسمی هم باید از آن گونه باشد، دست بزنیم. اما روشن است که به دلیل شناخت بسیار محدود ما از ارگانیسم، چنین برآوردهای مشخصی می تواند در بسیاری از موارد نادرست باشد؛ که نمونه های آن نیز بسیار فراوان است. در چنین مواردی، این به دلیل تحلیل تجربی ناقص از جزئیات فرایند فیزیولوژیك است، که چنین روشی نتایج نادرستی را به بار می آورد. اما کاملا طبیعی است که فرض پیشینی[20] غایت گرایی فرایند ارگانیك را به عنوان یك اصل اکتشافی[21] طبیعی بپذیریم؛ و به علاوه از آن جا که روابط موجود در ارگانیسم بسیار پیچیده و نتیجتاً فهم آنها بسیار مشکل است، این فرض می تواند سودمند باشد و حتی در یافتن راه حل مسئلهٔ خاصی ضروری باشد. اما باید میان آنچه را که می تواند در تحقیقات مقدماتی مفید باشد، با آنچه را که حق داریم بدان همچون نتیجه‌ای نهایی بنگریم، به روشنی فرق نهاد: در موردی که مسئلهٔ سازگاری وظیفهٔ معینی در جهت کمك به بقای تمامی ارگانیسم مطرح است، همچنان که قبلا گفتیم، نمی توان به نتیجه‌ای رسید، مگر آن که گام به گام نشان دهیم که از چه راهی این هدف تحقق می یابد.»

این متن را، که بیانگر نظر محفلی است که در آن بزرگ شده ام و مباحثش را در جوانی دنبال کرده ام، بدین دلیل نقل کردم که می تواند نقطهٔ شروع مناسبی در تحقیقات ما در مورد مقام ارگانیسم های زنده در تشریح طبیعت باشد. سعی بر این خواهم کرد که تا نشان دهم که گسترش اخیر فیزیك اتمی نه فقط به وسعت بخشیدن به شناخت ما دربارهٔ اتم و ساختمان آن، که خود متشکل از اجزای بنیادی تری است، کمك کرده، بلکه در عین حال محدودیتی اساسی را نیز افشا کرد که تصور مکانیکی طبیعت می نامیم. این گسترش نتیجتاً زمینهٔ ذهنی جدیدی برای این سؤال، که در موضوع صحبت ما نقشی قاطع دارد، فراهم آورد. این سؤال چنین است: از توضیح علمی چه چیز می فهمیم و چه انتظاری از آن داریم؟

برای آن که حتی الامکان به روشنی نشان دهیم که فیزیك در حال حاضر درچه وضعی است، به یادآوری دیدگاهی افراطی می پردازیم که ملهم از جریان پیر وزمند

20. apriorisch 21. heuristisches Prinzip

مکانیك کلاسیك، بیان خود را در تصور مشهور لاپلاسی از ماشین جهانی یافت. مفهوم اساسی چنین تصوری این بود که تمامی برهمکنش میان اجزای مختلف این ماشین از قوانین مکانیك اطاعت می کند. به طوری که اگر فکری در لحظهٔ مشخصی موقعیت و سرعت مربوط به اجزای آن را بداند، باید بتواند هر رویدادی را در جهان، من جمله رفتار حیوانات و انسانها را پیش بینی کند. خواهیم دید که چنین تصوری از جهان، اگرچه به وضوح نقش مهمی را در بحثهای فلسفی ایجاد کرده است، با وجود این به قدر کافی به شرایط اوّلیه توجّه نمی کند؛ شرایطی که امکان می دهد تا مفاهیم لازم جهت ابلاغ نتایج تجربی به دیگران را به روشنی به کار گیریم.

درست در همین زمینه است که تکامل بعدی فیزیك، تعلیمات پرارزشی را ارائه داد. توضیح مفصل پدیده های حرارتی به کمك فکری مبتنی بر حرکت بلاانقطاع ملکولها در گازها، مایعات و اجسام صلب، خود مقدمتاً توجه دانشمندان را به اهمیت شرایط مشاهده در تشریح تجارب جلب کرده بود. مسلماً صحبت از تشریح حرکت هریك ازذرات که عملا شمارش ناپذیر است، نمی توانست در این جا مطرح باشد، آنچه ممکن است، استنتاج قوانین آماری قابل اعمال به حرکت حرارتی از اصول کلی مکانیك بود. تعارض خاص میان بازگشت پذیری فرایندهای مکانیکی ساده و بازگشت ناپذیری اساسی بسیاری از پدیده های ترمودینامیکی، توضیح خود را در این واقعیت یافت که مفاهیمی چون دما و آنتروپی در شرایط تجربی یی قابل اعمال است که با کنترل کامل حرکت تك تك ملکولها ناسازگار است.

چنان که می دانیم، بقا ورشد ارگانیسم های زنده را غالباً در تضاد با گرایشی منتج از قوانین ترمودینامیك دانسته‌اند. بر اساس این گرایش، در درون سیستم های فیزیکی منفرد، تعادل حرارتی و تعادل انرژی به وجود خواهد آمد. اما باید به خاطر داشت که علی رغم توضیح بالا، ارگانیسم ها دائماً انرژی آزاد را از طریق تغذیه و تنفس دریافت می کنند. در همین زمینه تاکنون تحقیقات فیزیولوژیك پیشرفته هیچ گونه استثنایی را بر اصول نظریهٔ حرارتی نشان نداده است. برای پاسخ به سؤال ما در مورد مقام ارگانیسم های زنده در تشریح طبیعت، مسلماً قبول چنین مشابهتهایی میان ارگانیسم های زنده و ماشین های معمولی کافی نیست. پاسخ به این سؤال نیاز به بررسی عمیق مسئلهٔ مشاهده دارد.

کشف کوانتوم عام کنش مسئلهٔ مشاهده را به شیوه‌ای غیرمترقبه در صدر امور

قرار داد: کوانتوم کنش به فرایندهای اتمی خصلت یك کلیت را نسبت می‌دهد؛ خصلتی که تفکیك مشاهدهٔ پدیده‌ها را از رفتار خاص اشیا ـــ آن چنان که در تصور مکانیکی طبیعت اعمال می‌شود ـــ غیر ممکن می‌سازد. اگر در سیستم‌های فیزیکی با مقیاس معمول به خود حق می‌دهیم پدیده‌ها را همچون زنجیری از وضعیتهایی قابل تشریح از طریق کمیتهای قابل اندازه‌گیری بدانیم، این بدان دلیل است که اثرات اعمال شده همگی به حدی بزرگ است که از برهمکنشی که به هنگام مشاهده میان اشیا و ابزارهای اندازه‌گیری به کار گرفته شده به وجود می‌آید، می‌توان صرف نظر کرد. در شرایطی که کوانتوم کنش نقش اصلی را دارد و در نتیجه چنین برهمکنشی جزء لاینفك پدیده است، مسلماً نمی‌توان به این پدیده جریانی مشخص، به مفهومی که در مکانیك کوانتومی منظور است، نسبت داد.

ورشکستگی تصورات فیزیکی معمول به خصوص در این مشکل به بارزترین وجهی آشکار می‌شود که از خواص اشیای اتمی به عنوان خواص مستقل از شرایط مشاهده، بخواهیم صحبت کنیم. الکترون را می‌توان یك ذرهٔ باردار تعریف کرد، زیرا که اندازه‌گیری جرم لختی همواره نتایج یکسان می‌دهد و هرگونه تغییری در بار الکتریکی میان سیستم‌های اتمی، همواره با مبادلهٔ عدهٔ زوجی از بارهای بنیانی مطابقت دارد. اما، از طرف دیگر، اثرات ناشی از تداخل، که به هنگام عبور الکترون‌ها از درون بلورها ظاهر می‌شود، با تصور مکانیکی حرکت ذرات ناسازگار است. درست با همین ویژگیها در معضل قدیمی خود در مورد طیف نور روبرو هستیم، زیرا که پدیده‌های نوری نیاز به مفهوم انتشار امواج دارد، در حالی که قوانین انتقال انرژی و تکان در اثرات فوتواتمی، توضیح خود را در تصور مکانیکی ذرات می‌یابد.

از این اوضاع و احوال جدید در فیزیك، لزوم تحلیل مجدد مفاهیم ابتدایی، که ما را در جهان خارج رهنمون است، ناشی شده است. مسلم است که حتی فیزیك اتمی این آزادی را به ما می‌دهد تا طبیعت را از طریق تجربه به نوعی مورد تردید قرار دهیم؛ ولی باید پذیرفت که شرایط تجربی را ـــ که همواره می‌توان به طرق متعدد تغییر داد ـــ فقط به کمك اجسامی می‌توان تعیین کرد که به قدر کافی سنگین باشد تا در تشریح آنها بتوان از کوانتوم کنش صرف نظر کرد. اطلاعاتی که در مورد اشیای اتمی می‌توان به دست آورد، تنها اثراتی است که این اشیا بر روی ابزارهای اندازه‌گیری ـــ مثلا الکترون در روی صفحهٔ عکاسی واقع در داخل دستگاه آزمایش ـــ باقی

می گذارد. درست همین واقعیت، که چنین اثراتی همواره ناشی از اثرات تشدید و تقویت بازگشت ناپذیر است، به پدیده‌ها خصلت فردی خاصی می‌دهد که خود مستقیماً بازگشت ناپذیری اصولی مفهوم مشاهده را خاطرنشان می سازد.

اوضاع واحوال خاص مکانیك کوانتومی بیش از هر چیز بدین امر مربوط است که اطلاعات به دست آمده در مورد اشیای اتمی را نمی‌توان براساس دستورالعملهای مبتنی بر تصور مکانیکی طبیعت با یکدیگر جمع کرد بلکه جمع آنها تنها وقتی ممکن است که شرایط تجربی در خود تشریح وارد شود. این واقعیت که فقط با یك آرایش تجربی می توان عموماً مشاهداتی را انجام داد که به فرایندهای کوانتومی فردی مختلف مربوط است، خود درست به معنی محدودیت اصولی شیوهٔ تشریح جبری است. به علاوه، فرض تقسیم‌پذیری نامحدود ــ که شیوهٔ تشریح فیزیك کلاسیك بر آن استوار است ــ با خصلت کلی بودن پدیده‌های اخص کوانتومی ناسازگار است؛ کلیتی که در این واقعیت بیان می شود که هر نوع تقسیم به جزء، تغییری در آرایش تجربی را ایجاب می کند که خود باعث بروز اثرات منفرد جدیدی خواهد شد.

به منظور مشخص کردن رابطهٔ میان پدیده‌های مورد مشاهده در تحت شرایط تجربی مختلف، اصطلاح مکمّل بودن را وضع کردیم. باید یادآوری کنیم که چنین پدیده‌هایی در مجموع تمامی اطلاعات معینی را ارائه می‌دهد که می توان در مورد اشیای اتمی تحصیل کرد. دیدگاه مکملی، بی آن که بخواهد از توضیح فیزیکی معمول خودسرانه دست کشد نتیجهٔ مستقیمی است که از موقعیت ما به عنوان ناظر در حوزهٔ تجربی حاصل می شود ودر آن کاربرد بی ابهام مفاهیمی که به کار توصیف پدیده‌ها می آید، اساساً به شرایط مشاهده بستگی دارد. به منظور بسط ریاضی مجموعهٔ مفاهیم فیزیك کلاسیك، موفق به گسترش فرمالیسمی گشتیم که کوانتوم کنش با آن هماهنگ است. هدف این مکانیك کوانتومی صورتبندی قوانین آماری‌یی است که از نتایج تجربی حاصله در شرایط کاملا مشخص مشاهده به دست آمده باشد. این شیوهٔ تشریح اصولا جامع است، زیرا که تصورات مکانیکی کلاسیك را تا حدی حفظ کرده است که تمامی تغییرات مشخص شرایط تجربی را در بر گیرد.

خصلت مکملی تشریح پدیده‌ها از طریق مکانیك کوانتومی، به روشنی در تصور

ما از ساختمان و واکنشهای سیستم های اتمی پدیدار می شود. مثلا قوانین مربوط به حالات انرژی اتم‌ها و ملکول‌ها، که مشخص کنندهٔ طیف ویژه عناصر و رابطه ارزش[22] در ترکیبهای شیمیایی است، فقط در شرایطی وارد عمل می شود که در آنها امکان کنترل موقعیت الکترون ها در اتم و یا ملکول منتفی است. در این زمینه قابل ذکر است که کاربرد ثمربخش فرمول های ترکیبی در شیمی منحصراً بر این واقعیت مبتنی است که هستهٔ اتمی بسیار سنگینتر از الکترون است. برای توضیح تبدیلات و پایداری هسته‌ای، این بار هم قوانین مکانیك کوانتومی است که قطعاً وارد عمل می شود. این قوانین اساسی تعیین کنندهٔ خواص ماده است؛ ماده‌ای که ابزارها و اجسام ما متشکل از آن است، وجای خود را نتیجتاً در تشریح مکملی یی می یابد که در چارچوب تصور مکانیکی طبیعت نمی گنجد.

چنان که می‌دانیم، پیشرفتهای فیزیك اتمی موارد استعمال وسیعی در زیست شناسی یافته است. این پیشرفتها به خصوص به ما امکان داد تا پایداری ترکیبهای شیمیایی در درون سلول را ــ که خصوصیات ارثی تیره ها مربوط به آنها است ــ بفهمیم و قوانین آماری یی را روشن کنیم که پیدایش جهش در ارگانیسم ها را، به هنگامی که ارگانیسم‌ها تحت تأثیر عوامل فیزیکی قرار می گیرند، توجیه می کند. هم چنین اثرات تشدیدی، اثراتی مشابه با آنچه که مشاهدهٔ ذرات اتمی منفرد را ممکن می سازد، در بسیاری از وظایف ارگانیسم نقش مهمی دارد. همهٔ اینها، خصلت بازگشت ناپذیری پدیده‌های حیاتی اخص را خاطر نشان می سازد. در مورد مفهومی که باید به جهت زمان[23] داد، تا بتوان پدیده‌های حیاتی را تشریح کرد، باید گفت که اثرات به جای مانده در ارگانیسم به دلیل تأثیر عوامل خارجی بر روی اعضای حسی، هنگامی که این اعضاء در مقابل تحریکات بعدی واکنش نشان می دهد، مورد استفاده واقع می شود.

در تمامی این گسترش نویددهنده، مسئلهٔ تعمیم تقریباً نامحدود تجارب فیزیکی و شیمیایی محض، به مسائل زیستی مطرح است. اما از آن جا که مکانیك کوانتومی چیزی جز تعمیم منطقی فیزیك کلاسیك نیست، این شیوهٔ تحقیق را می توان

22. Valenz 23. Zeitrichtung

مکانیستی دانست. اما در این جا این مسئله مطرح می شود، که چنین پیشرفتهایی تاچه حد مورد استفادهٔ دلایل غایت گرا را در زیست شناسی بی اساس کرده است. فراموش نباید کرد که پدیده های کوانتومی که تشریح وجمعشان یك کل بی تناقض را تشکیل می دهد، هیچ خصلتی را بروز نمی دهد که بنابر آن مجموعه‌ای از اتم‌ها بتواند به شیوه‌ای خود را ــ آن چنان که در رشد و بقای ارگانیسم‌ها می بینیم ــ با محیط سازگار کند. همچنین لازم به یادآوری است که تشریح کامل وضع تمامی اتم‌های موجود و دائماً در حال تعویض در ارگانیسم، به مفهومی که در مکانیك کوانتومی منظور است، نه فقط عملا تحقق‌پذیر نیست، بلکه حتی به وضوح به شرایط تجربی‌یی نیازمند است که خود با حیات ناسازگار است.

آنچه را که دربارهٔ نقش ابزارهای مشاهده، در تعریف مفاهیم اولیه فیزیکی آموختیم، راه‌حلی به دست می دهد تا مفهومی چون غایت را ــ هر چند که بیگانه با فیزیك، اما مستقیماً قابل اعمال به پدیده های حیاتی است ــ منطقاً به کار گیریم. با توجه به چنین زمینه‌یی، دیدگاههای مکانیستی و غایت گرا در زیست شناسی، همچون تصورات متضاد با یکدیگر به نظر نخواهد رسید، بلکه بدین معنا خواهد بود که دو نوع شرایط مشاهده وجود دارد که در عین تباین، در کوشش خود به منظور یافتن شیوهٔ تشریحی بیش از پیش جامعتر حیات آلی، بدان نیازداریم. بدیهی است که در این جا صحبت از این نیست که توضیحی از حیات، به معنایی که در فیزیك کلاسیك از طرز کار ماشینهای ساده و یا ماشینهای محاسبهٔ الکترونیکی پیچیده منظور است، به دست دهیم، بلکه مسئله این است که تحلیل شرایط و شعاع عمل ابزارهای فکری را، که مشخصهٔ گسترش اخیر فیزیك است، هر چه بیشتر دنبال کنیم.

اختلاف شرایط مشاهده در زیست شناسی و فیزیك هر چه باشد، هیچ یك از این دو، نه زیست شناسی در ارائه نتایج به دست آمده و نه فیزیك در تشریح تجارب، اشاره‌ای به ناظر ذهنی نمی کند. به همین دلیل است که تاکنون در مورد شرایط مشاهده در روانشناسی، که در توصیف پدیده های روانی وارد عمل می شود، مفصلا بحث نکردیم. اما از آن جا که تجربهٔ آگاه در حافظه باقی می ماند، و در نتیجه باید بپذیریم که این امر مربوط به تغییرات دائم در ساختار ارگانیسم است، طبیعتاً به فکر مقایسهٔ تجارب روانی با مشاهدات فیزیکی نیز خواهیم افتاد؛ در همین مورد است که

در روابط متقابل موجود میان تجارب آگاه به خصلتهایی برمی خوریم که شرایط لازم بر جمع تجارب در فیزیك اتمی را یادآور می شود. مثلا، گنجینهٔ واژگانی غنی یی که در اختیار داریم تا دیگران را از وضعیت فکری خود مطلع سازیم، خود نشانی است بر نوعی شیوهٔ تشریح اخص مکملی که با تغییر دائم موضوع مورد توجه ما مطابقت دارد.

به منظور بیان خصلت کلیت پدیده های اتمی، لازم شد شیوهٔ تشریح مکانیکی را گسترش دهیم، در حالی که تمامیت ارگانیسم و یکپارچگی شخصیت آن، تعمیم به مراتب وسیعتر حوزهٔ اعمال بی تناقض وسایل اطلاع کلامی را به ما تحمیل می کند. درهمین مورد لازم به یادآوری است که تمایز میان عامل معرفت[۲۴] از عین معلوم[۲۵]، که لازمهٔ هر تشریح روشن است، بدین طریق حفظ می شود که ما در دادن هر گونه اطلاعی راجع به خود عامل معرفت جدیدی را وارد کار می کنیم که به ظاهر بخشی از محتوای اطلاع نیست. در این جا نیاز به یادآوری نیست که همین آزادی انتخاب در تفکیك عامل معرفت از عین معلوم است که به تنوع پدیده‌های آگاهی و غنای امکانات بشری میدان عمل می دهد.

رهیافت ما به مسائل معرفتشناختی، که گسترش کنونی فیزیك ما را بدان کشانده است، در برخی نکات اساسی با نحوهٔ برخورد زمان «استنو» با همین مسائل، تفاوت دارد. این نه بدان معنا است که ما از راهی که او با اطمینان دنبال کرده، تا معرفت ما را غنی تر سازد، دست کشیده ایم، بلکه به معنی پذیرفتن این نکته است که کوششهای ما در جهت ایجاد هماهنگی و زیبایی ــ که آثار نیلس استنسن بدان مشحون است، ایجاب می کند تا شرایط اساسی ومیدان عمل وسایل اطلاعاتی خود را همواره از نو مورد بررسی قرار دهیم.

24. Subjekt 25. Objekt

واژه‌نامه
آلمانی ـ فارسی

abgeschlossen	مسدود، بسته
absorbieren	جذب کردن
absorption	جذب
abstraktion	تجرید، انتزاع
aequidistant	متساوی الفاصله
aeusseres	بیرون، خارج
algorithmus	الگوریتم
analogie	قیاس، مشابهت
analyse	تحلیل، تجزیه
anatomie	کالبدشناسی
angeboren	فطری، مادرزادی
annahme	فرض
anorganisch	غیرآلی
anpassung	سازگاری، وفق
anpassungsfaehigkeit	قدرت سازگاری، قدرت وفق
anregung	تحریك، ترغیب
anschaulich	روشن، واضح
anthropologie	انسان شناسی
apriorisch	پیشینی، بدیهی
art	شیوه، روش
assimilation	جذب، هضم
astronomie	نجوم
asymptotisch	مجانبی
atmungsvorgang	جریان تنفس
atomistisch	اتم گرایانه
atomkern	هستهٔ اتمی
atommechanik	مکانیك اتمی
atomphaenomen	پدیده اتمی
atomtheorie	نظریه اتمی
atomzusammenstoss	برخورد اتمی
attribut	خاصیت، ویژگی
aufbau	ترکیب، ساختار
aufnahme	جذب
aufschluss	نتیجه
ausbau	ساختمان
ausbereitung	گسترش
auseinandersetzung	مجادله
ausgangpunkt	نقطهٔ آغاز
ausscheidung	دفع
ausschliessend	نافی، مانعة الجمع
ausschliessungsprinzip	اصل طرد

ausspruch	گفته، مثل
austausch	تبادل
bahn	مسیر
bakteriologie	باکتری شناسی
bau	بنا
baustein	سنگ بنا
bedingung	شرط
begrenzt	محدود
begrenzung	محدودیت
begriff	مفهوم
begruendung	استدلال، برهان
beharrungsvermoegen	اینرسی، ماند
behaviouristisch	رفتارگرایانه
belehrung	تعلیم، آموزش
beobachter	ناظر
beobachtungsproblem	مسالهٔ مشاهده
beschreibungsform	شیوهٔ تشریح
bestacndigkeit	پایداری، استواری
betrachtungsweise	شیوهٔ مشاهده
beugung	پراش
beweggrund	دلیل حرکت، انگیزه
bewegung	حرکت
bewusst	آگاه، هوشیار
bezugsystem	نظام ارجاع
bilanz	ترازنامه
bild	تصویر، تصوّر
bindung	پیوند
blende	دیافراگم، غشاءِ
blutkreislauf	گردش خون
breite	پهنا

chaos	بی نظمی
charakter	خصلت
darstellung	نمایش
dasein	هستی، وجود
denken	فکر کردن
deterministisch	جبری
dialektik	دیالکتیك، جدل
dialektisch	دیالکتیکی، جدلی
dilemma	معضل
direkt	مستقیم، بلاواسطه
dispersion	تفرق، پراکندگی، تجزیه
drama	درام
druese	غده
druesensekretion	ترشح غدوی
durchdringend	نافذ
effekt	اثر
eigenschaft	خاصیت
eigentuemlichkeit	ویژگی
eindringen	نفوذ کردن
einheit	وحدت
einstellung	دیدگاه، رهیافت
einzeln	منفرد، واحد
elektrisch	الکتریکی، برقی
elektrolyse	الکترولیز
elektronenkonfiguration	پیکربندی الکترونی
elektronenpaar	زوج الکترونی
elektronenstoss	ضربه الکترونی
element	عنصر

elementarladung	باراولیه، باربنیادی
elementarpartikel	ذرهٔ بنیادی
elementarprozess	فرآینداولیه
embryologie	جنین شناسی
emittieren	گسیل کردن، انتشاردادن
empfindlichkeit	حساسیت
empirisch	تجربی
emulsion	امولسیون، ملقمه
energie	انرژی
energiegleichgewicht	تعادل انرژی
entartet	منحط
entdeckung	کشف
entgegengesetzt	متقابل
entladungsphaenomen	پدیدهٔ تخلیه
erbeigenschat	خصلت توارثی
erblichkeit	توارثی
ererbt	توارثی
erfahrung	تجربه
erfahrungsmaterial	مصالح تجربی
erfassung	درك، ادراك
erhaltung	بقاءِ
erkenntnis	شناخت
erkenntnistheorie	نظریهٔ شناخت
erklaerung	توضیح
erscheinung	رویداد
erweiterung	گسترش، بسط
ethnologie	قوم شناسی
existenz	هستی، وجود
experiment	تجربه
experimentiertechnik	تکنیك تجربی
explosion	انفجار

faehigkeit	توانایی
farbphaenomen	پدیدهٔ رنگ
feinheit	ظرافت
fernwirkung	اثردور
finalistisch	غایت گرایانه
form	شکل، صورت
formal	صوری، شکلی
formalismus	فرمالیسم، صورتگرایی
formulieren	صورتبندی کردن
formulierung	صورتبندی
forschungsbereich	حوزهٔ تحقیق
fortpflanzung	تکثیر، انتشار
freiheitsgrad	درجهٔ آزادی
frequenzverteilung	توزیع فرکانس
fruchtbarkeit	ثمربخشی، سودمندی
fundamental	اساسی
funktion	تابع، وظیفه
ganzheitszug	خصلت کل
gebaeude	بنا، عمارت
gedanke	فکر
gedankenaustausch	مبادلهٔ فکری
gefuehl	احساس
gegensatz	متضاد، مخالف
gehirn	مغز
gekoppelt	مزدوج
geladen	باردار
gemuetszustand	وضع روحی
genetiker	ژنتیکدان
genmutation	جهش ژنی
genotyp	ژنوتیپ

geschwindigkeit	سرعت
gesetz	قانون
gesetzmaessigkeit	قانونمندی
gesichtpunkt	دیدگاه
gespenst	شبح
giftwirkung	اثر سم
gleichgewicht	تعادل
gleichfoermig	یك شکل
gravitation	ثقل، گرانش
gravitationseffekt	اثر گرانشی
grenze	حد، مرز
grobheit	بی‌دقتی
groessenordnung	مرتبهٔ بزرگی
groesse.	کمیت
grundlage	اساس، بنیان
grundprinzipien	اصول اساسی
grundzug	خصلت اساسی
gueltigkeit	اعتبار
handlungsmotiv	انگیزهٔ رفتار
harmonie	آهنگ
harmonisch	هم‌آهنگ، همساز
heilbringend	شفابخش
heuristisch	اکتشافی
hilfsmittel	ابزار کمکی
hinsicht	نظر، دیدگاه
hollistisch	گل گرایانه
iatrochemie	شیمی درمانی
iatrophysik	فیزیك درمانی
idealisierung	تعمیم آرمانی
immanent	ماندگار
improvisation	بدیهه‌گویی
impuls	تکان
individualitaet	فردیت
individuell	فردی
inhalt	محتوی
inspiration	الهام
instinkt	غریزه
integritaet	تمامیت
intensiv	فشرده
interfrenzfigur	شکل تداخل
introspektion	مراقبه، تأمّل در خود
invarianz	تغییرناپذیری
irrational	غیرمعقول، غیرمتعارف
kausal	علّی
kausalbeschreibung	تشریح علی
kausalitaetsideal	آرمان علّی
kausalkette	زنجیر علّی
keim	جنین، بذر، نطفه
kenntnis	شناخت
kerunmwandlungen	تبدیلات هسته‌ای
kernzerfall	تلاشی هسته‌ای
klassifizierung	دسته‌بندی، طبقه‌بندی
knochengeruest	استخوانبندی
koerper	جسم، تن
kohlenstoff	کربن
koinzidenz	اقتران، انطباق، همزمانی
komet	ستارهٔ دنباله‌دار
kommutativ	جابجاپذیر
komplementaer	مکمل

komplementaritaet	تکمیل گرایی، متممیّت	makroskopisch	کلان، ماکروسکپی
komponent	جزء، مؤلّفه	manigfaltigkeit	کثرت
konfiguration	پیکربندی ، ترتیب وضعی	masse	جرم
konsistent	منسجم	masstab	معیار
konstante	مقدار ثابت	materie	ماده
kontinuitaet	پیوستگی	materiell	مادی
kontrolieren	بازبینی کردن	mechanisch	مکانیکی
koordinieren	هم آهنگ کردن	menschengeschlecht	تیره بشری
korpuskular	ذره ای	menschlich	بشری، انسانی
kosmologie	کیهان شناسی	messgeraet	ابزار اندازه گیری
kraftfeld	میدان نیرو	methode	روش
kruemmungsradius	شعاع انحناء	metrik	متریك
kugelfoermig	کروی شکل	mitteilbar	قابل ابلاغ
		mitteilung	اعلام
lage	موقعیت	mittelpunkt	مرکز، وسط
leben	حیات، زندگی	monochromatisch	تك رنگ
lebensfunktion	وظیفهٔ حیاتی	multidimensional	چندبعدی
lebenskraft	نیروی حیاتی	muskel	عضله
leblos	بی جان	mutation	جهش
lehre	درس، نظریه	mystik	عرفان، استمداد از باطن
leib	تن		
licht	نور	naechstenliebe	نوعدوستی
lichtbuendel	دستهٔ نور	nahwirkung	اثر نزدیك
lichtphaenomen	پدیدهٔ نور	naturbeschreibung	تشریح طبیعت
lichtquelle	منبع نور	nebelkammer	اتاق ابر
lichtsignal	علامت نوری	nervenphysiologie	فیزیولوژی اعصاب
lichtwirkung	کنش نور	nervenreaktion	واکنش عصبی
loch	سوراخ، منفذ	nervensignal	پیام عصبی، علامت عصبی
logik	منطق	nervensystem	سیستم عصبی ـ سیستم اعصاب
lokalisierung	تعیین محل		
lungenerweiterung	اتساع ریوی	netzhautgebiet	حوزهٔ شبکیه

oberflaechlich	سطحی
objekt	عین، عین معلوم، شیء، جسم، مدرک
oeffnungswinkel	زاویهٔ گشودگی
ophtalmologie	چشم‌پزشکی
organisation	سازمان
organisch	آلی
organismus	ارگانیسم
paradoxien	احکام متناقض نما، احکام باطل نما
parallel	موازی
pathologie	آسیب شناسی
pendelbewegung	حرکت آونگ
persoenlichkeit	شخصیت
phaenomen	پدیده
phaenotyp	فنوتیپ
phantastisch	خیالی، وهمی
phase	فاز
philologie	فقه‌اللغه، واژه شناسی
photoelektrisch	فوتوالکتریکی
photonenemission	گسیل فوتون، انتشار فوتون
physikalisch	فیزیکی
pionier	پیشرو
planetarisch	سیاره‌ای
potentialschwelle	سدّ پتانسیل
probe	آزمون
prozess	فرآیند، جریان
pruefstein	سنگ محك
psychisch	روانی، ذهنی
psychologie	روانشناسی
quantenmechanik	مکانیك کوانتومی
quantenphysik	فیزیك کوانتومی
radikal	اساسی، اصلی، کلی
radioaktiv	رادیواکتیو
raeumlich	مکانی، فضایی
rahmen	چهارچوب
raum	مکان، فضا
raumzeitlich	مکانی-زمانی
reaktion	واکنش
regenerationsfaehigkeit	قدرت تجدید
registrieren	ضبط کردن، ثبت کردن
registrierung	ضبط، ثبت
regulierungsmechanismus	مکانیسم تنظیم
reichtum	غناء، ثروت
reihenfolge	توالی
rein	خالص، ناب، مطلق
relativitaetstheorie	نظریهٔ نسبیت
reproduzierbar	تکرارپذیر
richtschnur	قاعده، مبدأ
richtung	جهت
roentgenstrahlen	پرتو رونتگن، اشعه ایکس
rueckkehr	بازگشت
rueckstoss	ضربهٔ بازگشت
schieber	کشو
schirm	پرده
schisma	انشقاق
schlitz	شکاف، شیار

schwaechen	ضعیف شدن
schwerkraft	نیروی گرانش
schwingung	نوسان، ارتعاش
schwingungsfrequenz	فرکانس نوسان
schwingungszahl	عدد نوسان
seele	روح
selbstbeobachtung	مراقبه، درخودنگری
selbsterhaltung	بقاء نفس
selbststaendigkeit	استقلال
semantik	علم معنی
sinesorgan	عضو حسی
sinneseindruck	تأثیر حسی
sinneswahrnehmung	دریافت حسی
sinngemaess	مطابق با معنی
sonnensystem	منظومهٔ شمسی
spaltung	شکافت
spektralanalyse	تجزیه طیفی
spektrallinien	خطوط طیفی
spektroskopie	طیف نگاری
spektrum	طیف
spontan	فی البداهه، خودبه‌خود
spur	مسیر
stabilitaet	پایداری
stabilitaetseigenschaft	خاصیت پایداری
stationaer	ایستا
statistisch	آماری
stellung	موقعیت، موضع
stoerung	اختلال
stoff	ماده
stoffwechsel	متابولیسم
strahlung	تابش
strahlungsfeld	میدان تابش
strahlungsvorgang	پدیده تابش
strom	جریان
subjekt	ذهن، مشاهده‌گر، فاعل، مدرِك
substanz	جوهر
superpositionsprinzip	اصل برهمنهش
symbol	نشانه
synchronisation	هم‌زمان سازی
synthese	ترکیب
system	نظام، دستگاه، سیستم
systematisch	نظاممند
tatsaechlich	فی الواقع، عملا
teilbarkeit	تقسیم‌پذیری
teilchen	ذره
teilchenbild	تصویر ذره‌ای
teleologie	غایت شناسی
teleologisch	غایت گرا
traege	اینرسی، لختی
treibkraft	نیروی محرکه
trennungslinie	خط فاصل
ueberblick	نگاه، نظر
uebergang	انتقال، گذر، عبور
uebergangsprozess	فرآیند گذر
uebertragung	انتقال
ueberzeugung	باور، اعتقاد
uhr	ساعت
umfassend	جامع
umformung	تغییر شکل
umgebung	محیط

umkehrung	باژگون سای، مقلوب سازی
umwandlung	تبدیل
unbelebt	بی جان
unbestimmtheit	عدم قطعیّت
unerschoepflichkeit	زوال ناپذیری
universel	عام
unkontrollierbar	مهارناشدنی
unschaerfe	بی دقتی
unsicherheit	عدم اطمینان
unsterblich	فناناپذیر
unteilbarkeit	تقسیم ناپذیری
unterbewusstsein	ناخودآگاهی
unveraenderlichkeit	تغییرناپذیری
unvereinabr	ناسازگار
unzulaenglichkeit	نارسایی
ursache	علت
urspruenglich	دراصل، درریشه
ursprung	اصل، ریشه، مبدأ
valenz	ظرفیت
variabel	متغیر
veraenderlichkeit	تغییرناپذیری
veranlagerung	آمادگی قبلی، آمادگی فطری
verbindung	اتصال
verdauungsprozess	فرآیندهضم
verduennt	رقیق شده
vereinabr	سازگار
vererbung	وراثت
verfeinerung	تهذیب
verhalten	رفتار
vermehrungseigenschaft	خاصیت تکثیر
vernichtung	انهدام
vernunft	خرد، عقل
verschmelzung	ذوب
verschwinden	محوشدن، ناپدیدشدن
verschwindend	کاهش یابنده
verstaendnis	فهم، ادراک، بصیرت
verstaerken	تقویت کردن
verstaerkungsapparat	دستگاه تقویت کننده
versuchsanordnug	آرایش تجربی
versuchsbedingungen	شرایط تجربی
vertauschbarkeit	تعویض پذیری
verteilung	توزیع
verwirrung	سردرگمی، ابهام
verzicht	اعراض، روگردانی
visuell	بصری
vitalismus	حیات گرایی
vitalistisch	حیات گرایانه
vollkommenheit	کمال
vollstaendigkeit	جامعیت
voraussetzungen	شرایط، مقتضیات
vorgang	روند
vorstellung	تصور
vorurtiel	پیش داوری
wachsend	فزاینده، رشدکننده
wachstum	رشد، افزایش
waermegleichgewicht	تعادل حرارتی
waermephaenomen	پدیده گرمایی
waermestrahlungsgesetz	قانون تابش حرارتی
wahl	انتخاب

wahrnehmung	دریافت، مشاهده
wahrnehmungsorgan	عضو حسی
wahrscheinlichkeit	احتمال
wahrscheinlichkeitsgesetz	قانون احتمال
wechselwirkung	برهم کنش
weg	راه، طریق
weise	شیوه
welle	موج
wellenfeld	میدان موج
wellenfortpflanzung	انتشار موج
wellengleichung	معادلهٔ موج
wellenlaenge	طول موج
wellennatur	طبیعت موج
wellenvorstellung	تصور موجی
wellenzug	خصلت موجی
weltanschauung	جهان بینی
weltbild	تصور از جهان
weltkoerper	اجرام عالم
werk	اثر
wesen	ماهیت، اساس
wesentlich	ماهوی، اساسی
widersprechend	متناقض
widerspruchfrei	بدون تناقض
wille	اراده
willensfreiheit	آزادی اراده
willkuerlich	من عندی، خودسرانه

wirkung	اثر، کنش
wirkungsquantum	کوانتوم کنش
wissen	علم، دانش
wissengebiet	حوزهٔ دانش
wuerfeln	تاس انداختن
wunderbar	اعجاب آمیز
zaehler	شمارشگر
zaehlung	شمارش
zeit	زمان
zeiteinheit	واحد زمان
zeitrechnung	گاهشماری
zeitzuordnung	مختصات زمانی
zerfall	تلاشی
zerstoeren	منهدم کردن
zufall	تصادف
zug	خصلت
zusammenfassung	جمع، خلاصه، موجز
zusammenhang	ارتباط
zusammensetzung	ترکیب
zusammenstoss	برخورد
zusammenziehung	انقباض
zustand	وضعیت، حالت
zweckdienlichkeit	هدف گرایی
zweckmaessigkeit	صواب، صلاح، هدفمندی

عدم رعایت بزرگ و کوچك نویسی و تغییرات املایی در مصوتهای رادیکال آلمانی ــ هر چند نادرست ــ ناشی از نداشتن امکانات پردازش الکترونیکی متن در زبان آلمانی بوده است. ــ م.

فهرست راهنما